

Univerzita Karlova v Praze
Matematicko-fyzikální fakulta

DISERTAČNÍ PRÁCE



RNDr. Zdeněk Šabatka

Experimenty pro interaktivní fyzikální laboratoř: pokusy a teorie

Experiments for Interactive Physics Laboratory:
experiments and theory

Katedra didaktiky fyziky

Vedoucí disertační práce:
doc. RNDr. Leoš Dvořák, CSc.

Studijní program:
Didaktika fyziky a obecné otázky fyziky

Na tomto místě bych chtěl poděkovat předně vedoucímu práce doc. RNDr. Leoši Dvořákovi, CSc. za jeho připomínky i náměty při obtížích, nebo otázkách, na které jsem narazil. Současně chci poděkovat RNDr. Mgr. Vojtěchu Žákovi, Ph.D. a RNDr. Martině Kekule, Ph.D. za jejich čas a cenné rady při diskuzích ohledně provedených šetření a při tvorbě příslušných kapitol.

Velké poděkování patří rovněž doc. RNDr. Zdeňku Drozdovi, Ph.D., který se stará o Interaktivní fyzikální laboratoř. Bez grantů, které pro laboratoř získává, by chyběly pomůcky, které jsou pro její fungování nezbytné.

Velmi děkuji všem spolupracovníkům Interaktivní fyzikální laboratoře, kteří se v letech 2008 až 2016 pravidelně podíleli na vedení praktických cvičení pro studenty středních škol. Bez nich a jejich nadšení by nebylo fungování IFL možné. Jmenovitě patří poděkování kolegům Mgr. Petru Kácovskému, Mgr. Marii Snětinové, Ph.D., Mgr. Alici Šabatkové, Bc. Tomáši Kopřivovi a Mgr. Matěji Rystonovi.

Děkuji rovněž své rodině a manželce za obětavou podporu během mého doktorského studia na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy v Praze.

Prohlašuji, že jsem tuto disertační práci vypracoval(a) samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších odborných zdrojů.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona v platném znění, zejména skutečnost, že Univerzita Karlova v Praze má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

V Praze dne

Podpis autora

Název práce: Experimenty pro interaktivní fyzikální laboratoř: pokusy a teorie
Autor: RNDr. Zdeněk Šabatka
Katedra (ústav): Katedra didaktiky fyziky
Vedoucí disertační práce: doc. RNDr. Leoš Dvořák, CSc.
e-mail vedoucího: DvorakL@plk.mff.cuni.cz

Abstrakt:

Disertační práce se zabývá praktickou prací studentů ve výuce fyziky, konkrétně se zaměřuje na přípravu a realizaci praktických cvičení středoškolských studentů v Interaktivní fyzikální laboratoři (IFL) provozovanou Matematicko-fyzikální fakultou Univerzity Karlovy v Praze. Práce obsahuje stručný popis praktické práce jako jedné z výukových metod s důrazem na její cíle, efektivitu a různé varianty zadání. Dále je v práci popsána koncepce IFL a to včetně jejich východisek z nichž jedním byl dotazníkový průzkum mezi českými učiteli. Stěžejní částí práce jsou teoreticky i experimentálně zpracované čtyři tematické celky ve formě vhodné pro použití při praktických cvičení v IFL. Všechny připravené aktivity byly ověřeny v praxi. V práci jsou rovněž popsány výsledky dotazníkových výzkumů mezi studenty a učiteli. U studentů se šetření zaměřilo na průzkum jejich subjektivní zkušenosti s činnostmi při praktických aktivitách v IFL. Učitelé byli požádáni o zhodnocení připravených aktivit a práce IFL. K práci jsou přiloženy všechny vytvořené materiály.

Klíčová slova: praktická práce, pokusy, aktivity do hodin fyziky

Title: Experiments for Interactive Physics Laboratory: experiments and theory
Author: RNDr. Zdeněk Šabatka
Department: Department of Physics Education
Supervisor: doc. RNDr. Leoš Dvořák, CSc.
Supervisor's e-mail address: DvorakL@plk.mff.cuni.cz

Abstract:

The present doctoral thesis is concerned with practical work of students in physics education. More specifically, it focuses on preparation and implementation of practical seminars for high school students in the Interactive Physics Laboratory at Faculty of Mathematics and Physics, Charles University in Prague. The thesis describes practical work as one of the teaching methods with a focus on its goals, effectiveness and different types of assignment. Furthermore, the concept of the Interactive Physics Laboratory based also on Czech teachers' opinions gained from a small-scale survey is described. The main part of the thesis consists of activities organized into four topics suitable for the Interactive Physics Laboratory. The topics were processed both theoretically and experimentally and all prepared activities were tested on high school students. The current thesis describes the outcomes of two surveys that concentrated on students' and teachers' opinions. Data were collected using questionnaires. One survey focused on students' subjective experience with activities done in the Interactive Physics Laboratory. Teachers were asked to evaluate activities offered in the Interactive Physics Laboratory. All materials developed for the Interactive Physics Laboratory as well as all questionnaires are enclosed in Appendices.

Keywords: practical work, experiments, classroom activities

Obsah

Úvod	1
Cíle práce	2
Výzkumná část práce	3
Praktická část práce	4
Obsah jednotlivých kapitol	4
Obsah příloh	6
 I Praktická práce ve výuce fyziky	 7
 1 Praktická práce jako jedna z výukových metod	 9
1.1 Co je praktická práce	9
1.2 Role praktické práce	10
1.3 Cíle praktické práce	11
1.3.1 Dvě oblasti znalostí	14
1.4 Nedílná součást kurikula	15
 2 Efektivita praktické práce	 17
2.1 Co je efektivita praktické práce	17
2.1.1 Tvorba a použití praktické aktivity	17
2.1.2 Různé stupně efektivity	19
2.2 Efektivita praktické práce při naplňování vzdělávacích cílů identifikovaných učiteli	20
2.2.1 Získávání znalostí a konceptů (cíl I.)	20
2.2.2 Zvládnutí praktických dovedností v laboratoři (cíl II.)	22
2.2.3 Získávání vhledu do vědeckých metod (cíl III.)	23
2.2.4 Rozvoj vědeckých postojů (cíl IV.)	25
2.2.5 Prostředek motivace studentů (cíl V.)	25

3	Varianty zadání praktické práce	27
3.1	Laboratorní práce v českých středoškolských učebnicích	27
3.2	Fyzika s chutí (Physics with flavor)	30
3.3	Interactive Laboratory Experience Procedure (ILEP)	31
II	Interaktivní fyzikální laboratoř	33
4	Projekty podobné IFL	35
4.1	House of Science	35
4.2	PhysiScope	37
4.3	Science centra	39
4.4	Čím se inspirovat pro IFL	40
5	Koncepce laboratoře	43
5.1	Před spuštěním. Jak to vidí učitelé. (Dotazníkové šetření)	43
5.1.1	O dotazníku obecně	44
5.1.2	Část 1 a 2	44
5.1.3	Část 3: Já, pokusy na KDF a můj zájem o IFL	45
5.1.4	Část 4: Seznámení se s laboratoří před návštěvou se studenty .	47
5.1.5	Část 5: Studenti v laboratoři	48
5.1.6	Část 6: Webové stránky IFL, učitel a studenti	50
5.1.7	Shrnutí výsledků dotazníku	53
5.2	Aktivity v IFL do konce školního roku 2012/2013	54
5.3	Aktivity v IFL ve školním roce 2013/2014	56
5.4	Školní rok 2014/2015	59
5.5	Školní rok 2015/2016	61
6	Technická podpora IFL	63
6.1	Webové stránky projektu	63
6.2	Sbírka fyzikálních pokusů	65
III	Pokusy a teorie	69
7	Tematické programy (sady pokusů)	71
7.1	Elektrostatika	72

7.1.1	Souvislost s gymnaziálním kurikulem	72
7.1.2	Bližší popis sady pokusů	73
7.2	Rotující soustavy	77
7.2.1	Souvislost s gymnaziálním kurikulem	78
7.2.2	Bližší popis sady pokusů	78
7.3	Mechanické kmitání a mechanika tuhého tělesa	81
7.3.1	Souvislost s gymnaziálním kurikulem	81
7.3.2	Bližší popis sady pokusů	82
7.4	Magnetické pole solenoidu	84
7.4.1	Souvislost s gymnaziálním kurikulem	84
7.4.2	Bližší popis sady pokusů	84
8	Pokusy pro IFL	91
8.1	Ověření Coulombova zákona na digitálních váhách	93
8.1.1	Teorie	93
8.1.2	Aparatura a princip měření	95
8.1.3	Výsledky měření	96
8.1.4	Pracovní list	97
8.1.5	Shrnutí a zkušenosti	98
8.2	Kulička uvnitř kyvety se zakřiveným dnem	99
8.2.1	Teorie	99
8.2.2	Aparatura a princip měření	99
8.2.3	Výsledky měření	100
8.2.4	Pracovní list	102
8.2.5	Shrnutí a zkušenosti	103
8.3	Ohnivý vír	105
8.3.1	Teorie	105
8.3.2	Aparatura a princip experimentu	105
8.3.3	Výsledky experimentu	106
8.3.4	Pracovní list	106
8.3.5	Shrnutí a zkušenosti	106
8.4	Pohyb těles plavajících na rotující hladině	108
8.4.1	Teorie	108
8.4.2	Aparatura a popis experimentu	111
8.4.3	Výsledky pozorování	112
8.4.4	Pracovní list	113

8.4.5	Shrnutí a zkušenosti	113
8.5	Magnetické pole solenoidu	114
8.5.1	Teorie	114
8.5.2	Aparatura a princip měření	116
8.5.3	Výsledky měření	118
8.5.4	Pracovní list	121
8.5.5	Shrnutí a zkušenosti	121
8.6	Kmitání tělesa na pružině	123
8.6.1	Teorie	123
8.6.2	Aparatura a princip měření	123
8.6.3	Výsledky měření	123
8.6.4	Pracovní list	125
8.6.5	Shrnutí a zkušenosti	125

IV Zpětná vazba 127

9 Vnitřní motivace studentů 129

9.1	Úvod	129
9.2	Metodologie	129
9.2.1	IMI - Intrinsic Motivation Inventory	130
9.2.2	Úprava dotazníku pro IFL	131
9.3	Výsledky	133
9.3.1	Zájem / potěšení	134
9.3.2	Úsilí / důležitost	136
9.3.3	Tlak / tenze	138
9.3.4	Hodnota / užitečnost	140
9.3.5	Souhrn výsledků	142
9.3.6	Porovnání různých kategorií studentů	142
9.4	Shrnutí	146

10 Zpětná vazba od učitelů 149

10.1	Úvod	149
10.2	Metodologie	150
10.3	Výsledky	150
10.3.1	Hodnocení aktivit	150
10.3.2	Komunikace a práce týmu IFL	151

10.3.3	Návaznost na lekci v IFL	152
10.3.4	Další informace získané od učitelů	153
10.4	Shrnutí	153
Závěr		155
Literatura		161
Seznam publikací autora		175
Seznam zkratk		179
Přílohy		181
A Odvození elektrostatické síly působící mezi dvěma nabitými vodičnými sférami		183
B Popis dalších experimentů		195
B.1	Ověření Coulombova zákona pomocí Faradayovy klece	196
B.1.1	Teorie	196
B.1.2	Aparatura a princip měření	197
B.1.3	Výsledky měření	198
B.1.4	Shrnutí a zkušenosti	200
B.2	Elektrická intenzita v okolí nabitého kulového vodiče	201
B.2.1	Teorie	201
B.2.2	Aparatura a princip měření	204
B.2.3	Výsledky měření	207
B.2.4	Pracovní list	209
B.2.5	Shrnutí a zkušenosti	209
B.3	Elektrický potenciál v okolí nabitého kulového vodiče	210
B.3.1	Teorie	210
B.3.2	Aparatura a princip měření	212
B.3.3	Výsledky měření	212
B.3.4	Pracovní list	213

B.3.5	Shrnutí a zkušenosti	213
B.4	Kapacita deskového kondenzátoru	215
B.4.1	Teorie	215
B.4.2	Aparatura a princip měření	216
B.4.3	Výsledky měření	216
B.4.4	Pracovní list	218
B.4.5	Shrnutí a zkušenosti	218
B.5	Elektrická intenzita homogenního pole	219
B.5.1	Teorie	219
B.5.2	Aparatura a princip měření	219
B.5.3	Výsledky měření	220
B.5.4	Pracovní list	221
B.5.5	Shrnutí a zkušenosti	222
B.6	Elektrický potenciál homogenního pole	223
B.6.1	Teorie	223
B.6.2	Aparatura a princip měření	223
B.6.3	Výsledky měření	224
B.6.4	Pracovní list	224
B.6.5	Shrnutí a zkušenosti	225
B.7	Dostředivá síla	226
B.7.1	Teorie	226
B.7.2	Aparatura a princip měření	226
B.7.3	Výsledky měření	228
B.7.4	Pracovní list	229
B.7.5	Shrnutí a zkušenosti	229
B.8	Tvar hladiny v rotující nádobě	231
B.8.1	Teorie	231
B.8.2	Aparatura a princip měření	231
B.8.3	Výsledky měření	232
B.8.4	Pracovní list	233
B.8.5	Shrnutí a zkušenosti	233
B.9	Měření momentu setrvačnosti	235
B.9.1	Teorie	235
B.9.2	Aparatura a princip měření	236
B.9.3	Výsledky měření	237
B.9.4	Pracovní list	240

B.9.5	Shrnutí a zkušenosti	240
B.10	Pohlovo kyvadlo	242
B.10.1	Teorie	242
B.10.2	Aparatura a princip měření	245
B.10.3	Výsledky měření	246
B.10.4	Pracovní list	246
B.10.5	Shrnutí a zkušenosti	247
B.11	Modul pružnosti - kroucení tyčí	248
B.11.1	Teorie	248
B.11.2	Aparatura a princip měření.	253
B.11.3	Výsledky měření	253
B.11.4	Pracovní list	254
B.11.5	Shrnutí a zkušenosti	255
C	Pracovní listy	257
	Platí Coulombův zákon? Pole nabité koule.	258
	Deskový kondenzátor a jak v něm měřit pole	270
	Dostředivá síla	277
	Rotující kuličky	281
	Kapalina v rotující nádobě	285
	Lodičky na rotující hladině	289
	Moment setrvačnosti	292
	Moment setrvačnosti - pomocná tabulka	296
	Kmitání na pružině	297
	Pohlovo kyvadlo	298
	Torzní kmity	301
D	Dotazníky	305
D.1	Koncept IFL - názory vyučujících ze SŠ	305
D.2	Studentský dotazník k IFL - vnitřní motivace	308
D.3	Zpětná vazba od učitelů	310
E	Obsah přiloženého CD	313

Úvod

Fyzika má mezi školními předměty těžkou pozici. Z různých výzkumů vyplývá (např. [1], [2]), že je žáky na všech typech škol vnímána jako jeden z nejméně oblíbených předmětů, či ne příliš oblíbený. A to i přesto, že tři čtvrtiny žáků souhlasí s tím, že bez fyziky a techniky by současný život nebyl možný, a přes 90 % je považuje nějakým způsobem za důležité pro život. Tento rozpor může být na první pohled velmi zarážející. Náznak vysvětlení můžeme nalézt v jednom z výzkumů při němž byla použita metoda sémantického diferenciálu (viz [2], [3]). Žáci hodnotili fyziku mimo jiné jako spíše „složitou“, „starou“, „vzdálenou“, či „nudnou“. Stejně tak nevidí velké spojení mezi fyzikou jakožto předmětem vyučovaným ve škole a vědním oborem. Navíc ti žáci, kteří vnímají fyziku spíše jako školní předmět, hodnotí fyziku jako nudnější a složitější než žáci, kteří ji vnímají více jako vědní obor. Domnívám se, že negativní výsledky vypovídají především o tom, jakým způsobem je fyzika na školách vyučována. Je tedy nutné podívat se na jednotlivé fáze výuky detailněji. Ukazuje se (viz [1]), že praktické aplikace zařazené do hodiny jsou mezi žáky na všech typech škol řádově oblíbenější než teoretické aktivity typu výklad, referát, vyprávění a aktivity typu procvičování. Výše zmíněný výzkum [3] navíc ukázal, že žáci pokusy dělat chtějí. Věřím, že této obliby můžeme při získávání zájmu o fyziku využít. Na samotných školách však představuje praktická práce studentů jen malou část času strávenou v hodinách fyziky. Pokud se studenti s pokusy setkají, tak je spíše provádí vyučující (viz výzkum TIMSS a jeho výsledky v [3]). Navíc obecně vnímaným problémem mezi vyučujícími fyziky je nedostatek vybavení. Nejen z vlastní zkušenosti vím, že se často musí potýkat se starými špatně fungujícími pomůckami. I když to jistě není jediná příčina, má jistě i tento moment vliv na to, že podobné nálepky se dočká celá školská fyzika.

Domnívám se, že jedním z nástrojů, který lze využít při tom, chceme-li učit fyziku zajímavěji, lépe a tak, aby fyzika žáky bavila, nepovažovali ji za ošklivou ani starou, je častější zařazování praktických aktivit do hodin fyziky. Každá z takových aktivit by však měla mít i svůj výukový cíl a neměla by být pouze nástrojem pro motivaci žáků. Ideálním stavem by jistě bylo, aby každá ze škol mohla v tomto ohledu svým žákům nabídnout stejně kvalitní podmínky. To se však v době, kdy je školství dle mého názoru stále podfinancované, nezdá být reálné. Jistou pomocí se může jevit možnost sdílení zdrojů. Prostřednictvím internetu v rámci nejrozličnějších projektů dnes učitelé sdílí nespočetné množství digitálních učebních materiálů, vyměňují

si nápady na jednoduché experimenty. Paralelně s tím se však začíná rozvíjet další forma „sdílení“. Česká science centra začínají kromě interaktivních procházek svými expozicemi a různými naučně zábavnými show stále více nabízet také výukové programy pro školy. Výuka se tak částečně přesouvá do těchto zařízení. Podobný trend můžeme pozorovat i ve světě, kde výukové laboratoře pro žáky základních a střední škol fungují často i při univerzitách a vědeckých pracovištích. S myšlenkou vzniku podobné laboratoře jsem se setkal v rámci svého magisterského studia i na Katedře didaktiky fyziky Univerzity Karlovy v Praze a ta mne oslovila do té míry, že jsem se rozhodl pomoci při realizaci tohoto projektu.

Cíle práce

Hlavním cílem této disertační práce bylo vytvořit, ověřit a uvést do praxe praktická cvičení pro středoškolské studenty, která by se konala například v rámci tzv. Interaktivní fyzikální laboratoře (dále IFL), která v době zadání této práce začala vznikat na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy v Praze a o jejíž chod by se měla starat Katedra didaktiky fyziky (KDF), případně byla vhodným doplněním výuky středoškolské fyziky.

Druhým, ne však menším, cílem bylo zjistit, zda mají středoškolští učitelé zájem o to, docházet na praktická cvičení na MFF UK v Praze. Já i vedení katedry jsme předpokládali, že poptávka bude velká. K této domněnce nás vedl mnohaletý zájem středních škol o přednášky doplněné o demonstrační pokusy, které organizuje rovněž KDF, stejně jako obecně známý nedostatek pomůcek na středních školách.

Mezi další cíle patřilo stanovit koncepci laboratoře - tj. na jaké experimenty by měla být zaměřena, jakým způsobem by měli studenti pracovat, jak by měla vypadat struktura návštěvy/exkurze studentů v laboratoři, atd. Při řešení této otázky jsem se opřel především o názory učitelů, ale i zkušenosti ze zahraničí.

K naplnění hlavního cíle bylo nutné vytipovat vhodné experimenty a upravit je pro potřeby IFL, tyto experimenty bylo nutné ověřit v praxi a dle odezvy dále upravit. Vhodnými experimenty rozumím takové, které odpovídají učivu na střední škole, případně ho dále rozšiřují.

Mým cílem bylo rovněž zjistit, jaký vliv mají tato praktická cvičení na studenty a to především z hlediska jejich vnitřní motivace, a jak na vybrané aktivity reagují.

Velmi důležitým ukazatelem vypovídajícím o kvalitě připravených aktivit je dle mého názoru i pohled zkušených pedagogů. Proto jsem získával zpětnou vazbu i od učitelů, kteří se praktických cvičení se svými studenty účastnili.

Terminologická poznámka

V celém textu práce se objevuje termín *praktická práce*, který vychází z anglického *practical work*. V českém prostředí se tento pojmem v rámci didaktik přírodovědných předmětů běžně neobjevuje. Pokud ano (viz [4]), jsou jím souhrnně označeny metody výuky zahrnující jak žákovské pokusy tak řešení teoretických fyzikálních úloh a technických námětů.

I když v anglosaském pojetí neexistuje jedna jasná definice pojmu *practical work*, všechny (viz např. [5]) jsou spojeny více s vlastní experimentální činností žáků případně úkoly, které se váží k údajům získaným z pozorování skutečného světa. Naproti tomu řešení teoretických úloh (typické ukázky viz např. [6]) již nebývá vnímáno jako *practical work*.

Pro účely této práce jsem se v tomto případě rozhodl následovat anglosaskou terminologii. Především z toho důvodu, že termín *praktická práce* považuji za lépe vystihující to, co studenti v IFL dělají. Fráze „provádět pokus“ ve mě vyvolává pocit, že člověk pouze manipuluje s danými pomůckami. Studenti však dělají nejen pokusy, ale také diskutují, vytváří hypotézy, zpracovávají výsledky svých měření a mnoho dalšího. Rovněž věřím, že v blízké budoucnosti IFL nabídne aktivity, které budou zaměřeny například na zpracování údajů, které nenaměřili přímo studenti, ale byla získána při skutečných vědeckých pozorováních. Pak již jistě nemluvíme o tom, že studenti dělají pokusy. Dalším faktorem, který mne vedl k tomuto rozhodnutí, je samozřejmě i to, že v řadě případů se odvolávám na zahraniční publikace, které s termínem *praktická práce* běžně operují.

Výzkumná část práce

Výzkumný přístup

Aktivity vytvářené pro IFL, stejně jako laboratoř samotná jsou hlavním bodem zájmu této práce. K tomu, aby bylo možné naplnit výše zmíněné cíle, bylo nutné danou problematiku zkoumat různými metodami ať již kvantitativními, či kvalitativními. Výzkumná část této práce tedy spadá do kategorie smíšeného výzkumného designu.

Výzkumný plán

Při úvodním stanovování cílů IFL a toho, jak by měla vypadat, byly analyzovány dokumenty, bylo provedeno dotazníkové šetření mezi učiteli fyziky, společně s tím

probíhala vnitřní diskuze členů KDF.

Při hledání vhodných námětů a formy zadání praktické práce byla nutná analýza dokumentů. Při jejich testování bylo prováděno pozorování a na jeho základě byly aktivity upravovány.

Účelnost připravených aktivit byla zkoumána z různých úhlů pohledu. Jednak vlastním pozorováním výzkumníkem, ale především zkoumáním vnitřní motivace studentů při samotných aktivitách a zjišťováním zpětné vazby od zúčastněných učitelů. V této části se tedy jedná o drobnou případovou studii.

Metody sběru dat

V rámci výzkumné části byla data sbírána prostřednictvím připravených dotazníků a vlastním pozorováním.

Praktická část práce

Praktickou část práce tvořila zejména příprava vlastních experimentů, rozumějme především potřebných experimentálních aparatur, a návodů/pracovních listů/materiálů pro studenty.

Většina aparatur sestává z předmětů zakoupených od dodavatelů didaktických pomůcek. U některých experimentů byla vytvořena vlastní řešení vhodná pro zkoumání daných jevů (za všechny např. sada pro zkoumání magnetického pole cívky viz část 8.5).

Obsah jednotlivých kapitol

Celý text práce jsem se snažil připravit a strukturovat tak, aby mohl v budoucnosti sloužit jako jistý odrazový můstek ať již pro studenty MFF, kteří budou chtít například v rámci svých závěrečných prací pomoci k dalšímu rozvoji IFL, nebo pracovníky v IFL, kteří se budou chtít blíže seznámit s tím, jak se laboratoř vyvíjela ve svých počátcích a na jakých základech funguje.

Vlastní text je rozdělen do čtyř logických částí. První z nich, pod názvem *Praktická práce ve výuce fyziky*, lze označit za rešeršní a zabývá se především obecnými otázkami spojenými s touto výukovou metodou. Ve třech kapitolách (1. *Praktická práce jako jedna z výukových metod*, 2. *Efektivita praktické práce*, 3. *Varianty zadání praktické práce*) jsou postupně rozebírány:

1. Pozice praktické práce mezi výukovými metodami a v rámci kurikula základního a středního vzdělávání. Role praktické práce v rámci výuky fyziky. Cíle, kterých se při výuce fyziky snaží učitelé prostřednictvím praktické práce dosáhnout.
2. Efektivita praktické práce coby výukové metody při naplňování různých cílů.
3. Způsoby zadání praktické práce studentům. Popsány jsou rozdíly mezi „klasickým“ zadáním, které se vyskytuje v běžných českých středoškolských učebnicích, a dvěma vybranými přístupy popsány v zahraniční literatuře.

Druhá část *Interaktivní fyzikální laboratoř* se ve svých třech kapitolách (4. *Projekty podobné IFL*, 5. *Koncepce laboratoře* a 6. *Technická podpora IFL*) věnuje:

4. Popisu vybraných laboratoří podobného zaměření jako je IFL. V závěru kapitoly je uvedeno několik postřehů z fungování těchto laboratoří, které by mohly být v jisté formě uplatněny i v rámci IFL.
5. Představení koncepce IFL a jejího vývoje do září 2015. V rámci této kapitoly je také popsáno dotazníkové šetření mezi učiteli, které bylo provedeno před zahájením ostrého provozu IFL. Na jeho základě byla sestavena některá doporučení pro fungování laboratoře.
6. Popisu webových stránek IFL a představení sbírky fyzikálních pokusů coby prostředku pro přiblížení námětů na pokusy učitelům.

Třetí část *Pokusy a teorie* je dále členěna do dvou kapitol (7. *Tematické programy (sady pokusů)*, 8. *Pokusy pro IFL*). V nich se čtenář seznámí s:

7. Výukovými programy (lekcemi), které IFL do září 2015 nabízela a do nichž vždy spadá jistá sada tematicky provázaných pokusů. U jednotlivých programů je popsána jejich návaznost na gymnaziální kurikulum, výukové cíle připravených aktivit a je přiložen i přehled očekávaných činností studentů v rámci těchto aktivit.
8. Několika vybranými pokusy, které jsem pro IFL připravil a které jsou součástí některého z výukových programů. Pokusy popsané v této kapitole byly vybrány tak, aby byly ukázkou různých forem zadání praktické práce, aby reprezentovaly různé časové průběhy práce v IFL, a aby reprezentovaly různé tematické

programy (sady pokusů). U každého z pokusů je uveden jeho cíl, krátký rozbor teorie, popis aparatury a postupu měření. Nechybí ukázka naměřených a zpracovaných výsledků a krátký popis způsobu, jakým se studenti k danému pokusu v IFL dostanou. U každého z pokusů je v závěru krátké shrnutí popisující, jak se pokus v IFL osvědčil, případně čím může být pro studenty zajímavý.

Čtvrtá část *Zpětná vazba* je podobně rozdělena do dvou kapitol (9. *Zpětná vazba od studentů - vnitřní motivace*, 10. *Zpětná vazba od učitelů*):

9. V rámci této kapitoly je popsán nástroj Intrinsic Motivation Inventory (IMI) pro zkoumání vnitřní motivace a jeho úprava pro potřeby IFL. Rozebrány jsou rovněž výsledky provedeného dotazníkového šetření.
10. Závěrečná kapitola shrnuje výsledky z dotazníkového šetření mezi učiteli, kteří IFL navštívili ve školním roce 2013/2014.

Obsah příloh

V příloze A je provedeno teoretické odvození varianty Coulombova zákona pro dvě stejně nabitě vodivé duté kuličky nenulového poloměru. Podobná odvození samozřejmě nalezneme v literatuře (citováno dále v textu práce), avšak ta jsou příliš obecná, či příliš stručná. Text této přílohy je určen především budoucím lektorům v IFL, kteří se budou chtít seznámit s „původem“ rovnice, kterou studenti v IFL používají.

Příloha B obsahuje popisy dalších pokusů, které autor práce připravil pro použití v IFL.

Obsahem přílohy C jsou pracovní listy připravené v rámci této práce a používané u jednotlivých tematických programů.

V příloze D jsou přiloženy tištěné verze dotazníků použitých při provedených šetřeních.

Nakonec je přiložen obsah CD (příloha E), které je součástí této práce. CD obsahuje soupis odpovědí na otevřené otázky v dotazníkových šetřeních, elektronické verze použitých dotazníků, všechny připravené pracovní listy a podpůrné materiály (soubory s tabulkami a grafy), které studenti využívají při praktických cvičeních. Na CD jsou rovněž tabulky dat získaných při přípravě ukázkových zpracování experimentů, které jsou popsány v této práci.

Část I

Praktická práce ve výuce fyziky

1. Praktická práce jako jedna z výukových metod

„Labor omnia vincit improbus.

Urputná práce vše zmůže.“

Vergilius.

„Jaké jsou cíle praktické práce v hodinách fyziky? Jaký efekt má praktická práce žáků a studentů na rozvoj jejich znalostí, dovedností a získávání nadhledu? Je efektivnější než jiné metody výuky? Jaký typ aktivit se hodí pro dosažení daného cíle?“ To jsou pravděpodobně hlavní, ne však jediné, otázky, které napadnou snad každého člověka, který se kdy zabýval praktickou prací coby prostředkem vzdělávání. V této kapitole se snažím nalézt alespoň několik odpovědí na otázky podobného ražení.

1.1 Co je praktická práce

Praktická práce je jednou z výukových metod. Definicí a výkladem různých metod výuky se zabývá např. publikace [4]. Podle tohoto zdroje bychom měli výukovou metodu chápat jako „*záměrný postup nebo způsob didaktického uspořádání obsahu výuky, vyučovací činnost učitele a učebních aktivit žáků, který směřuje k dosažení stanovených cílů výuky v souladu s didaktickými zásadami a se zásadami organizace výuky*“.

Třídění metod výuky fyziky podle zdroje poznání a typů poznatků podle [4]:

- Metody slovní
 - monologické metody (popis, vysvětlování, vyprávění, přednáška, ...)
 - dialogické metody (rozhovor, diskuze, beseda, brainstorming, ...)
 - metody práce s učebnicí fyziky, s knihou, s fyzikálním textem
- Metody názorně demonstrační
 - pozorování (fyzikálních objektů, jevů či procesů)
 - předvádění (fyz. objektů, jevů, procesů, pomůcek, přístrojů, modelů, ...)
 - demonstrace obrazových pomůcek (schémata, diagramy, grafy, oscilogramy, tabulky, ...)

projekce statická a dynamická (videozáznamy, transparentní modely pro zpětný projektor, s využitím počítače: aplet, prezentace, simulace, ...)

- **Praktická metoda (metody praktických prací)**

expoziční žákovské pokusy a laboratorní úlohy

řešení fyzikálních úloh a technických námětů

Podobné dělení uvádí i [7]. Našli bychom i menší podskupiny tří hlavních zmíněných metod. Cílem této práce je však zaměřit se na experimentální část praktické práce studentů na středních školách a především na laboratorní práce.

1.2 Role praktické práce

Role praktické práce ve výuce se v průběhu času měnila a jistě ještě měnit bude. Velmi pěkným přirovnáním tento vývoj glosuje [8]: *„Vývoj praktické práce lze přirovnat ke kyvadlu kmitajícím mezi přístupem zdůrazňujícím fakta o vědě a přístupem zaměřeným na metody vědy.“* V prvním případě jde o situaci, kdy experimenty a případná praktická práce studentů „pouze“ ověřují fakta sdělená učitelem (v mnoha případech se tak jedná o demonstrační experimenty). Druhý přístup je úzce spojen se známým vyjádřením¹: *„Co slyším, to zapomenu. Co vidím, si pamatuji. Co si vyzkouším, tomu rozumím.“*

Historický vývoj role praktické práce ve výuce popisují např. články [8] a [9]. Ve svých počátcích byla praktická práce skutečně většinou „jen“ pomocníkem výkladu a důkazem, že sdělení, či teoretické odvození funguje. Tento stav se začal postupně měnit v druhé polovině devatenáctého století a to především díky profesoru chemie na Londýnském City and Guild Institute dr. Henry Edwardu Armstrongovi (1848 - 1937), který obhajoval heuristický přístup k výuce fyziky. V této době začali žáci sami experimentovat a praktickou činnost pomalu přebírali od vyučujících. Na počátku dvacátého století však ke slovu opět přišel starší model a důraz byl kladen opět na praktickou práci podle návodů a heuristický duch se z něj vytratil. Svoji renesanci zažil heuristický přístup až v šedesátých letech dvacátého století, kdy se objevitelské vyučování prostřednictvím praktické práce studentů stalo opět středobodem ve výuce přírodních věd.

Článek [8] rovněž uvádí, že průzkumy provedené v osmdesátých letech 20. století ukázaly, že v přírodovědných předmětech angličtí žáci ve věku 11 až 13 let strávili

¹Autorem toho výroku je údajně Konfucius.

praktickou prací až polovinu času a studenti ve věku 16 až 19 let přibližně jednu třetinu. Na konci sedmdesátých let se začaly objevovat otázky, zda je forma praktické práce zvolena vhodně. Je správné, aby si žáci „hráli“ na vědce a při tom řešili úkoly, na které je předem daná odpověď? Jednoduše můžeme říci, že vzrůstá obava o to, aby praktická práce nebyla umělá. V sedmdesátých letech se v USA objevuje tzv. SAPA (Science - A Process Approach), který říká, že více než na fakta a principy vědy bychom se měli zaměřit na to, co dělají opravdoví vědci. Postupně tedy vzrůstá důležitost „zkoumání“, coby formy výuky, jehož cílem je rozvíjet procedurální myšlení.

1.3 Cíle praktické práce

Mnoho studií se pokoušelo objasnit, jaké jsou/jaké by měly být cíle praktické práce ve vyučování přírodních věd. Jednou z prvních, ne-li první studií tohoto typu, ze které mnoho následujících vycházelo, je studie [10] z roku 1963. Uvádí se, že 700 učitelů přírodních věd ze 150 různých škol bylo požádáno, aby seřadili deset nabízených cílů praktické práce podle jejich důležitosti. Výsledek shrnuje následující výčet² cílů, již seřazený dle uvedeného výzkumu:

1. Zlepšit dovednost studentů přesně pozorovat a pečlivě zaznamenávat výsledky pozorování (*to encourage accurate observation and careful recording*).
2. Podporovat jednoduché zdravé vědecké myšlení (*to promote simple, common-sense, scientific methods of thought*).
3. Rozvíjet manuální dovednosti (*to develop manipulative skills*).
4. Trénovat řešení úloh (*to give training in problem-solving*).
5. Projít praktickou částí zkoušení (*to fit the requirements of practical examinations*).³

²Výčet cílů doplňuji i o originální formulace (v závorkách) tak, aby bylo omezeno případné zkreslení překladem do češtiny. Podobně tomu činím i u následujícího výčtu cílů praktické práce na straně 12.

³Na tomto místě je nutné okomentovat, že ve zmíněných školách byla pevně zakotvena praktická práce i jako součást hodnocení. Pro ilustraci můžeme porovnat současné kurikulum českého gymnázia (viz např. Rámcový vzdělávací program (RVP) [11]) a libovolné školy působící kdekoli po světě připravující studenty na tzv. mezinárodní maturitu IB (International Baccalaureate Diploma Programme [12]). V České republice je zvykem do hodin zařazovat praktickou práci např. ve formě laboratorních cvičení, avšak RVP nijak blíže nespecifikuje, které experimenty by měli studenti vykonat a jakou dobu by měli studenti praktickou prací strávit. V systému IB je přesně stanoven počet hodin, které musí studenti v rámci dvouletého přírodovědného kurzu strávit praktickou prací. Navíc součástí závěrečného hodnocení je kromě tří testů i tzv. Internal assessment [13].

6. Přiblížit teoretické poznatky tak, aby bylo dosaženo jejich porozumění (*to elucidate the theoretical work so as to aid comprehension*).
7. Ověřit již vyložená fakta a principy (*to verify facts and principles already taught*).
8. Získat vlastní zkušenost s procesem hledání poznatků a objevování principů prostřednictvím výzkumu (*to be an integral part of the process of finding facts by investigation and arriving at principles*).
9. Zvýšit a udržet zájem o předmět (*to arouse and maintain interest in the subject*).
10. Prostřednictvím vlastní zkušenosti více přiblížit biologické, chemické a fyzikální jevy (*to make biological, chemical and physical phenomena more real through actual experience*).

Následné studie (např. [14], [15]), které vycházely z [10], pak dospěly k na první pohled možná podobných výsledkům jako jejich vzor, jistý posun zde dle mého názoru můžeme zaznamenat. Výstupy těchto prací lze shrnout do následujících bodů, které opět označují cíle praktické práce:

- I. Zvýšit znalosti a pochopení vědeckých konceptů (*to enhance students' understanding of scientific concepts*).
- II. Zlepšit praktické vědecké dovednosti a schopnosti řešit úlohy (*the enhancement of students' scientific practical skills and problem solving abilities*).
- III. Zlepšit vědecké myšlenkové návyky (*the enhancement of students' scientific habits of mind*).
- IV. Rozvoj vědeckých postojů (*developing scientific attitudes*).
- V. Zvýšení pozornosti a motivace (*the enhancement of students' interest and motivation*).

V porovnání s předchozím výčtem si všimneme, že se zde v podstatě nově objevují požadavky na porozumění vědě jako takové (I. a III.) a rozvoj osobnosti jedince (IV.)

Nicméně i v tomto případě se jedná pouze o výčet cílů praktické práce, které vidí učitelé.

Tuto část si můžeme představit jako „větší protokol“ o laboratorní práci. Tomuto miniprojektu by mělo být věnováno 10 vyučovacích hodin a hodnocení zprávy o něm, kterou studenti odevzdají, tvoří 20 % jejich celkové známky.

Cíle I. - III. lze zařadit mezi tzv. kognitivní cíle. Často zde hovoříme o poznatcích či o vědomostech. R. Millar v článku [16] tyto cíle (I. - III.) přeformulovává, dále rozděluje a blíže specifikuje. Toto rozdělení shrnují tabulky 1.1 a 1.2.

Tabulka 1.1: Výukové cíle praktické aktivity podle R. Millara [16].

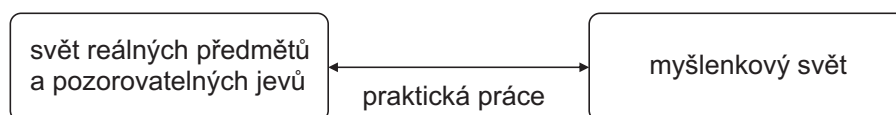
Výukové cíle	Výukové cíle detailněji
I. Studenti rozvinou své znalosti a pochopení přírody (světa okolo nás). (<i>By doing this activity, students should develop their knowledge and understanding of the natural world.</i>)	Studenti si vybaví vlastnosti pozorovaného objektu, materiálu nebo jevu. (<i>Students can recall an observable feature of an object, or material, or event.</i>)
	Studenti si vybaví „vzor“ v pozorováních (např. podobnost, rozdíl, trend, závislost). (<i>Students can recall a ‘pattern’ in observations (e.g. a similarity, difference, trend, relationship).</i>)
	Studenti jsou schopni demonstrovat pochopení vědecké představy, konceptu, vysvětlení, modelu, nebo teorie. (<i>Students can demonstrate understanding of a scientific idea, or concept, or explanation, or model, or theory.</i>)
II. Studenti se naučí používat laboratorní vybavení nebo následovat standardní praktické postupy. (<i>By doing this activity, students should learn how to use a piece of laboratory equipment or follow a standard practical procedure.</i>)	Studenti dokáží použít vybavení, nebo provést praktický postup, se kterým se doposud nesetkali. (<i>Students can use a piece of equipment, or follow a practical procedure, that they have not previously met.</i>)
	Studenti selepší v používání vybavení, nebo praktickém postupu činnosti, se kterým se setkali již dříve. (<i>Students are better at using a piece of equipment, or following a practical procedure, that they have previously met.</i>)
III. Studenti více porozumí tomu, co z obecného pohledu znamená vědecký přístup k bádání. (<i>By doing this activity, students should develop their understanding of the scientific approach to enquiry.</i>)	Studenti lépe rozumí, co znamená vědecké bádání. (<i>Students have a better general understanding of scientific enquiry.</i>)
	Studenti lépe porozumí konkrétnímu aspektu vědeckého bádání. (<i>Students have a better understanding of some specific aspects of scientific enquiry.</i>)

Tabulka 1.2: Specifické cíle vědeckého bádání podle R. Millara [16]. Tabulka dále rozděluje, které konkrétní aspekty vědeckého bádání mohou být součástí výukového cíle praktické aktivity.

Studenti lépe porozumí konkrétnímu aspektu vědeckého bádání, a to ...
Jak poznat dobrou výzkumnou otázku. (<i>How to identify a good investigation question.</i>)
Jak naplánovat strategii sběru dat tak, aby odpovídala na otázku. (<i>How to plan a strategy for collecting data to address a question.</i>)
Jak vybrat vybavení potřebné pro výzkum. (<i>How to choose equipment for an investigation.</i>)
Jak jasně prezentovat data. (<i>How to present data clearly.</i>)
Jak analyzovat data, aby odhalila nebo ukázala vzor/závislost. (<i>How to analyse data to reveal or display patterns.</i>)
Jak narýsovat graf a prezentovat závěry založené na důkazech. (<i>How to draw and present conclusions based on evidence.</i>)
Jak stanovit, jak jistí si můžeme být, že závěry jsou správně. (<i>How to assess how confident you can be that a conclusion is correct.</i>)

1.3.1 Dvě oblasti znalostí

Fundamentálním cílem velké části praktických aktivit je podle [17] pomoci vytvořit propojení mezi *oblastí pozorovatelných jevů a objektů* (reálným světem) a *oblastí myšlenek* (myšlenkovým světem) (obrázek 1.1).



Obrázek 1.1: Praktická práce pomáhá studentům vytvářet spojení mezi dvěma oblastmi [17].

V aktivitách, ve kterých je např. úkolem studentů, aby pozorovali nějaký děj a něco si o něm zapamatovali, nebo aby postupovali přesně podle daného návodu, hraje oblast myšlení poměrně malou roli. V mnoha aktivitách je však po studentech vyžadováno, aby porozuměli nějaké konkrétní myšlence, která je podstatná např. pro vysvětlení konaných pozorování. V tomto případě již nestačí aby studenti pouze něco manuálně vykonávali, ale aby zapojili svoje myšlení. V anglické literatuře se mluví o tom, že aktivita již není pouze „hands on“, ale rovněž „minds on“.

1.4 Nedílná součást kurikula

Jak ukazují předešlé řádky, praktická práce se snaží naplňovat smysluplné cíle a pomoci tím žákům a studentům nejen k lepšímu pochopení konceptů a povahy vědy. Jakožto doporučený nástroj se tedy objevuje i v dokumentech, které udávají standardy vzdělávání. V České republice jsou těmito dokumenty tzv. Rámcové vzdělávací programy.

Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání [18] (dále jen RVPZV) konkrétně stanoví, že vzdělání vede žáka ke „zkoumání přírodních faktů a jejich souvislostí s využitím různých empirických metod poznávání (pozorování, měření, experiment) i různých metod racionálního uvažování“. Dále uvádí některé konkrétní úkony, které jsou minimem toho, co musí žák v rámci praktické práce v rámci výuky fyziky zvládnout. Konkrétně:

- změří vhodně zvolenými měřidly některé důležité fyzikální veličiny charakterizující látky a tělesa,
- změří velikost působící síly,
- sestaví správně podle schématu elektrický obvod a analyzuje správně schéma reálného obvodu,
- rozliší stejnosměrný proud od střídavého a změří elektrický proud a napětí,
- využívá prakticky poznatky o působení magnetického pole na magnet a cívku s proudem a o vlivu změny magnetického pole v okolí cívky na vznik indukovaného napětí v ní⁴,
- zapojí správně polovodičovou diodu.⁵

Dále v očekávaných výstupech nalezneme několik dalších dovedností, které by mohly být z jistého pohledu zařazeny do tohoto krátkého výčtu. Záleží však na tom, jak bychom chápali sousloví „řešení problémů“ a jemu podobná. Konkrétně formulace „využívá poznatky o zákonitostech tlaku v klidných tekutinách pro řešení konkrétních praktických problémů“ tak může být vyložena různě. Lze ji brát jako manuální činnost, ve které studenti prokáží schopnost změřit tlak na dně bazénu, ale také jako popis toho, že dokáží vypočítat příklad, nebo odpovědět na otázku popisující konkrétní situaci z běžného života.

⁴Nutno říci, že zde je formulace dle mého názoru poněkud nepřesná, neboť napětí vždy měříme mezi dvěma body a tudíž hovořit o napětí v něčem se zdá být nesprávné.

⁵I zde bychom mohli výrok zpochybnit. Myslí se snad vyjádřením „správně“ v propustném směru, nebo podle daného zadání, ...?

Na středoškolské úrovni Rámcový vzdělávací program pro gymnázia [11] (dále jen RVPG) již mezi základními cíli celého vzdělávacího procesu uvádí v rámci kompetencí k řešení problémů, že student by si měl osvojit následující dovednosti:

- vytváří hypotézy, navrhuje postupné kroky, zvažuje využití různých postupů při řešení problému nebo ověřování hypotézy;
- uplatňuje při řešení problémů vhodné metody a dříve získané vědomosti a dovednosti ...;
- kriticky interpretuje získané poznatky a zjištění a ověřuje je, pro své tvrzení nachází argumenty a důkazy, formuluje a obhájí podložené závěry.

Toto jsou ty nejjasnější body, které skutečně jakoby kopírují postup při experimentu. RVPG pak dále stanoví, že studenti „*mají mít co nejvíce příležitostí postupně si osvojovat vybrané empirické i teoretické metody přírodovědného výzkumu*“. Jedinou praktickou dovedností jasně stanovenou RVPG je, že student „*měří vybrané fyzikální veličiny vhodnými metodami, zpracuje a vyhodnotí výsledky měření*“. Tato formulace je však natolik obecná, že se do ní „vejde“ v podstatě cokoliv. Dle mého názoru by bylo vhodné, aby dokument typu RVPG, který se snaží stanovovat základní profil absolventa gymnázia, byl konkrétní a stanovil jakousi spodní hranici. Pod formulací „zpracuje výsledky měření“ se může skrývat jednoduchý výpočet průměrné hodnoty, nalezení směrnice přímé úměrnosti, ale také metoda nejmenších čtverců. Chci tím říci, že RVPG by mělo jasně stanovit, co je minimem nejen pro všechny studenty, kteří projdou gymnaziálním vzděláváním, nejen z hlediska obsahu učiva, ale i z hlediska praktické práce. Dále se opět objevuje několik formulací, pod kterými lze z jistého pohledu chápat i praktickou činnost, tj. např. „*využívá Ohmův zákon při řešení praktických problémů*“. Nicméně i zde by bylo chválihodné tuto formulaci rozvést.

RVP však ani pro základní ani pro střední školy nestanovuje doporučené metody, kterými by mělo být těchto cílů dosaženo, tj. zda budou pro trénink těchto dovedností využity frontální žákovské experimenty, laboratorní práce, demonstrační experimenty, či jiné. Tento úkol, tedy určit, jaký počet například laboratorních prací bude v daném ročníku proveden, je již na samotné škole. S konkrétními náměty na vlastní praktickou práci žáků a studentů přichází učebnice, které většinou obsahují i zadání jimi doporučených laboratorních cvičení (viz část 3.1).

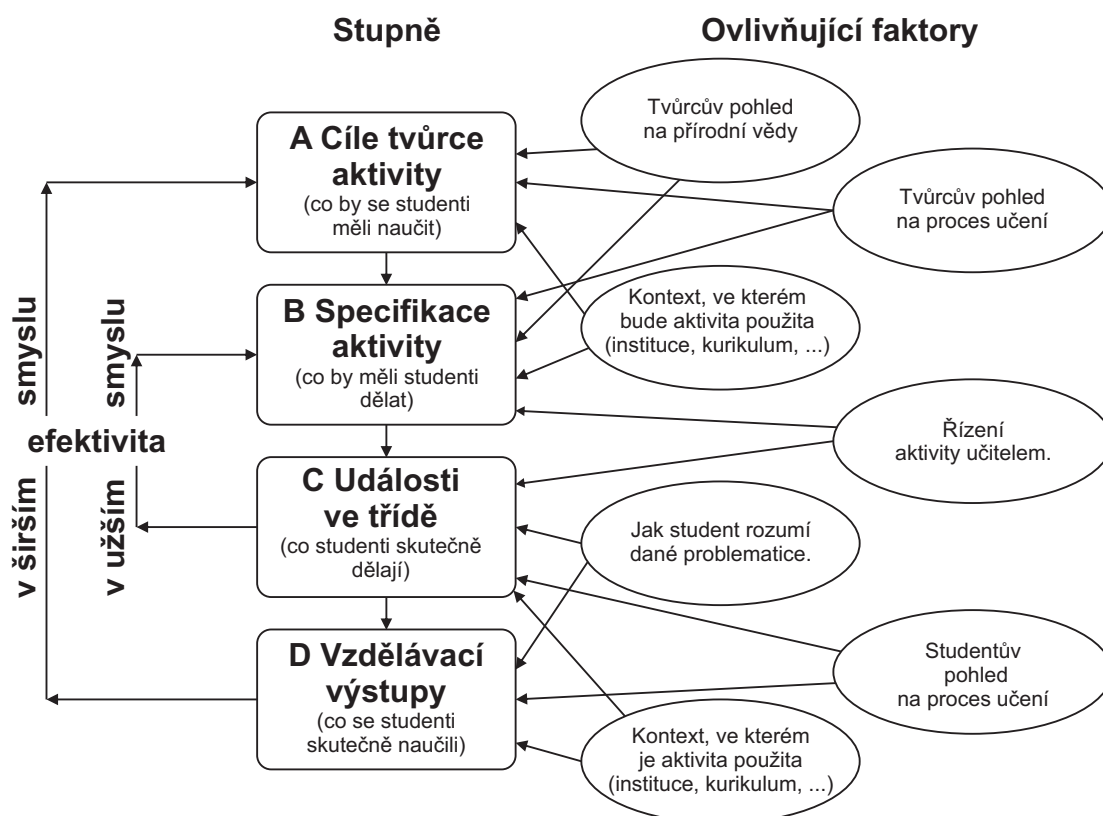
2. Efektivita praktické práce

V předchozí kapitole byly shrnuty cíle praktické práce, jak je vidí především učitelé. Skutečná situace ve třídě, tj. jak se učitelům daří jejich cíle prostřednictvím praktické práce realizovat, však může být zcela jiná.

2.1 Co je efektivita praktické práce

R. Millar [16] chápe efektivitu výukové aktivity, tedy nejen praktické práce (ta sem ovšem rovněž spadá) jako vztah mezi jednotlivými fázemi aktivity. Aby bylo možné popsat, co se rozumí efektivitou je nejdříve nutné rozebrat, jak výuková aktivita vzniká.

2.1.1 Tvorba a použití praktické aktivity



Obrázek 2.1: Stupně ve vytváření a evaluaci praktické aktivity – a faktory, které je ovlivňují. Dle Millara [16], upraveno. Tvůrcem aktivity se zde rozumí učitel, autor učebnice, apod. tedy skutečně ten, kdo danou aktivitu připravil.

Celý proces od přípravy po použití praktické aktivity znázorňuje obrázek 2.1. To, jak daná aktivita dopadne, závisí na několika faktorech. Prvním z nich budou cíle práce (viz např. tabulky 1.1 a 1.2) tak, jak je vidí učitel, resp. tvůrce aktivity není-li jím přímo učitel. Tyto cíle ovlivňuje několik faktorů:

Pohled tvůrce aktivity na vědu. Např. co si myslí, že je důležité, aby se skupina studentů naučila. Jeho názory na vědu a proces poznání.

Pohled tvůrce na proces učení. Např. co myslí, že je vhodné pro studenty daného věku a stupně vzdělání, pro které je aktivita připravována; jak si myslí, že proces učení probíhá.

Kontext, ve kterém bude aktivita použita. Např. kurikulum, podle kterého se postupuje; zda a případně jak jsou studenti hodnoceni; dostupné zdroje.

Druhou fází je „přeložení“ výukových cílů do nějaké konkrétní aktivity studentů. Tím můžeme rozumět jednoduše to, co budeme chtít, aby studenti fakticky dělali. Zde musí tvůrce aktivity řešit, zda budou zadané úkoly/otázky otevřené či uzavřené, jaká bude logická struktura aktivity (např. budou-li studenti sbírat data a ta poté interpretovat, nebo budou postupovat cyklem postupu vytvoření hypotézy a její následné ověření či vyvrácení, ...), zda budou studenti pracovat jako jednotlivci, nebo ve skupinkách, atd. Tento proces ovlivňují stejné faktory jako výběr cílů aktivity. Oproti Millarovi [16] se navíc domnívám, že dalším ovlivňujícím faktorem je přítomnost učitele ve třídě. Učitel aktivitu zadává a následně ji i řídí a je tak spojovacím článkem mezi specifikací aktivity a tím, co se ve třídě skutečně děje.

Poté, co je aktivita připravena a zadána, můžeme pozorovat, co studenti skutečně dělají. Toto ovlivňují faktory podobné těm, které ovlivňovaly přípravu aktivity:

Jak studenti rozumí dané problematice. Co studenti vědí o tématu, do kterého je aktivita zasazena, jak zběhlí jsou při používání potřebné aparatury, atd.

Pohled studentů na vzdělávání. Vidí studenti své vlastní vzdělávání tak, že postupně spojují další a další zkušenosti, nebo jako objevování „pravdy“ pomocí měření a pozorování, nebo jako „dostávání“ představ a vhledu od učitele? Atd.

Kontext, ve kterém byla aktivita použita. Co po studentech požaduje kurikulum? Budou za praktickou práci hodnoceni? Jaké jsou dostupné pomůcky? Atd.

Aktivita studentů pak vede k výukovým výstupům, tj. k tomu, co si studenti skutečně odnesou.

2.1.2 Různé stupně efektivity

Při pozorování studentů během praktické práce je možné kontrolovat, jak se podařilo přeměnit plánovanou aktivitu ve skutečnost. To, zda studenti skutečně dělají to, co autor zamýšlel, aby dělali, můžeme nazvat „efektivitou v užším smyslu“. (Na obrázku 2.1 se tedy jedná o vztah mezi rámečky B a C).

Pokud lidé mluví o efektivitě výukové aktivity, mají většinou spíše na mysli to, jak se podařilo naplnit plánované výukové cíle. Tedy, jaký je vztah mezi rámečky A a D ve schématu (na obrázku 2.1). Toto bychom mohli označit za „efektivitu v širším smyslu“. Současně lze hovořit o tom, do jaké míry je praktická aktivita v jednotlivých smyslech efektivní. V části 1.3.1 bylo zmíněno, že znalosti a dovednosti lze získávat ve dvou oblastech a to v oblasti reálného světa (pozorovatelné) a oblasti myšlenkové. Můžeme tak zjišťovat, zda studenti zadanou práci „pouze“ vykonávají, nebo o ní i přemýšlejí, nebo zda dokáží nabyté znalosti uplatnit i v širším kontextu. Tabulka 2.1 ukazuje, jak poznat, že je aktivita efektivní v dané oblasti a smyslu.

Tabulka 2.1: Jak poznat, že je aktivita efektivní v daném smyslu v jednotlivých oblastech znalostí. Dle Millara [16], upraveno.

Praktická aktivita je:	v oblasti pozorovaných předmětů a jevů	v oblasti myšlenek
efektivní v užším smyslu	Studenti s připravenými pomůckami a materiály dělají to, co měli dělat a pozorují to, co měli pozorovat.	Během aktivity studenti přemýšlí o tom, co dělají a pozorují, za použití představ a myšlenek vhodných pro danou aktivitu.
efektivní v širším smyslu	Studenti si jsou schopni později vybavit a popsat, co v aktivitě dělali a co pozorovali.	Studenti jsou schopni později diskutovat o aktivitě za použití myšlenek a představ, které byly cílem rozvoje, nebo které byly v aktivitě skryty (a jsou snad schopni ukázat jejich porozumění a uplatnění v jiném kontextu).

2.2 Efektivita praktické práce při naplňování vzdělávacích cílů identifikovaných učiteli

Funguje tedy praktická práce? Vede k naplnění cílů očekávaných vyučujícími? Tuto otázku velmi pěkně rozebírá Robin Millar ve shrnujícím článku [19]. Drží se při tom cílů praktické práce podle Hodsona [14] a Hodsteina [15] a postupně probírá možnosti dosahování jednotlivých cílů. Následující část si bere z tohoto postupu příklad a strukturou ji následuje¹. Při tom budou postupně rozebrány cíle praktické práce I. - V. jak byly uvedeny v předchozí kapitole (viz strana 12).

2.2.1 Získávání znalostí a konceptů (cíl I.)

Jedním z důvodů, proč zahrnout praktickou práci do vyučování, který byl učiteli identifikován, je, že praktická práce je v rozvoji chápání mnohem efektivnější než jiné aktivity. Pro podporu tohoto tvrzení je však jen málo přesvědčivých argumentů. V některých případech se ukazuje, že program, ve kterém je praktická práce zastoupena jen mizivě, může být efektivnější.

Jedna ze studií [21] například tvrdí, že jedinou věcí, kterou se studenti, kteří prošli kurikulem s větším zatížením na praktickou práci, naučili lépe, byly vědecky specifické dovednosti, tj. především manipulovat s laboratorním vybavením. Zmíněný výzkum byl proveden na šedesáti studentech jedné školy ve věku čtrnáct let, kteří byli náhodně rozděleni do tří skupin a následně prošli tématicky stejným biologickým kurzem avšak s rozdílnými formami výuky: jen diskuze; diskuze a demonstrace; diskuze a laboratorní práce. Další studie [22] ukazuje na tématu hoření, že dvě skupinky žáků ve věku 14 až 15 let o celkovém počtu 150 respondentů, z nichž jedna prošla kurzem s vysokým podílem praktické práce (žáci z Anglie) a u druhé byla praktická práce zastoupena mnohem méně (žáci ve Španělsku), jsou na stejném stupni porozumění. Existuje i několik dalších studií, které srovnávají na stejném tématu vyučování bez a s praktickou prací studentů.

Mnohem více šetření však bylo provedeno na poli porovnávání efektivnosti praktické práce studentů vs. demonstrace učitelů. I zde však výzkumníci přicházejí s podobnými závěry. Například studie [23] z roku 1981, provedená na šestnáctiletých studentech v Austrálii při vyučování zákonů popisujících plyny, ukázala, že studenti, kteří prošli praktickou prací si vybavují více některé konkrétní detaily, které se odehrály při probírání látky, ale při testu znalostí nebyl mezi oběma skupinami

¹Stejně diskutuje efektivnost uvedených cílů již J. Bennet [8] nebo R. Watson v článku [20].

statisticky významný rozdíl.

Nedostatek důkazů, které by vyvyšovaly praktickou práci nad ostatní při učení novým znalostem, se zdá být na první pohled zarážející. Tento fakt tak kontrastuje se silnou obhajobou samostatné praktické práce mnoha vyučujícími. Hledáním důvodu tohoto rozdílu se zabývají další řádky.

Během zmíněných i jiných výzkumů byly nalezeny faktory, které ovlivňují to, zda praktická práce naplní první cíl - studenti/žáci při ní získávají znalosti. Některé tyto faktory zmiňuje [8]. Efektivita je velmi ovlivněna zvoleným typem praktické práce stejně jako tím, do jaké míry učitel pomáhá studentům vidět propojení mezi jejich prací při vyučování a vědeckými myšlenkami, potažmo činností vědců. Musíme si rovněž uvědomit, že praktická práce klade na studenty velký tlak. Musí současně pozorně číst a následně porozumět instrukcím, používat přístroje, dělat pozorování, provádět měření a zaznamenávat výsledky a průběh své práce. Toto všechno dělá z praktické práce pro studenty těžký oříšek a toto všechno ovlivňuje dosažení stanovených cílů.

J. Bennet [8] rovněž uvádí studie, při kterých nahrávky pořízené během praktické práce ukazují, že studenti stráví nejvíce času vyjasňováním a přípravou organizace úkolů. Dále se ukazuje, že studenti jsou při vysvětlování výsledků praktické práce ovlivněni myšlenkami, které si sebou již přinesli. Studenti tak často vidí spíše, co by chtěli vidět, než co by měli vidět. Ani několik pozorování nemusí dovést studenta ke správnému pochopení jevu, poněvadž studenti neradi dedukují.

Mnoho výzkumníků přisuzuje malou efektivitu praktické práce přílišnému spoléhání na práci podle tzv. „kuchařky“, kdy žáci pracují přesně krok po kroku podle předem daného návodu. Aktivita se tak často dostává do stádia, kdy ji můžeme kvalifikovat jako „hands on“, ale již ne „minds on“. Žáci či studenti se tak dostávají do situace kdy jen mechanicky bezmyšlenkovitě opakují kroky naplánované učitelem a někdy se mohou dostat do situace, kterou parafrázuje profesorka Rosalind Driver [24] (pracovala na University of Leeds a následně na King's College London) přeformulováním slavného údajně čínského přísloví: „*Když poslouchám, zapomínám to. Když se dívám, pamatuji si to. Když to zkusím sám, jsem ještě více zmatený*².“

Obecně se věří (tedy učitelé věří), že praktická práce, nebo jen zážitek s reálným dějem je podstatný pro pochopení vědeckých konceptů. V laboratoři dostávají specifické pojmy nový rozměr, jehož nelze dosáhnout pouhým mluvením. Studenti si však sami vlastní koncepty/teorie nevytvoří většinou správně. Důležitou roli na jejím utváření hraje učitel. Příkladem může být následující situace [25]. Při experimentu

²V originále „*I listen and I forget, I look and I remember, I do and I am even more confused.*“

byly pod recipient vývěvy umístěny balónky. Vývěva byla spuštěna a balónky se začaly pozvolna nafukovat. Napoprvé většina studentů vysvětlovala tento jev špatně - pravděpodobně na základě svých zkušeností z každodenního života, kdy si podobnou situaci (pití brčkem) rovněž vysvětlují nesprávně. Mnoho studentů udávalo, že: „*Při pití brčkem vysajeme vzduch z brčka a poté nasáváme tekutinu. Balónky se zvětšují, poněvadž při vysávání vzduchu nasáváme i stěny balónků.*“ Důležitou rolí učitele je nyní pomoci studentům použít a porozumět vědeckému vysvětlení. Za tímto účelem musí upozornit na zjevné fakty. V tomto případě na to, že balónky jsou pevně uzavřeny a vzduch z nich nemůže unikat. Dále se může soustředit na správnou myšlenku některého ze studentů, a zaměří se na to, že uvnitř zvonu je snižován tlak. Myšlenku přeformuje a pomalu zopakuje tu část, kterou student říká správně: „*Takže pokud snížíme množství vzduchu pod zvonem, sníží se tlak vzduchu pod zvonem . . .*“ Co tak může napomoci lepší efektivnosti praktické práce je učitel, který coby mediátor a pomocník při interpretaci výsledků ukazuje studentům cestu ke správnému vědeckému vysvětlení pozorovaného jevu.

Ukazuje se totiž, že pozorování bez interpretací a pomoci učitele jsou k ničemu. Důležitou roli hraje právě samotné interpretování pozorování studenty a následné konfrontace s tím, jak to vidí odborník - v našem případě vyučující. Ten by měl studenty vést k tomu, aby se naučili klást správné otázky. Ten, kdo klade otázky, myslí a přemýšlí nad problémem. Ovšem jen tehdy, jsou-li to otázky k věci. Jsou-li „mimo“, je třeba se zamyslet nad tím, proč tomu tak je.

2.2.2 Zvládnutí praktických dovedností v laboratoři (cíl II.)

Slovu dovednosti můžeme přisoudit různé významy. Hodson [14] je rozděluje na „vědecky specifické“ (použití mikroskopu, . . .); „řemeslné“ (příprava aparatury, . . .) a „zobecnitelné“, tj. takové, které můžeme využít i v jiných oblastech (odečítání naměřené hodnoty z vah, . . .). Oproti předchozí části, u otázky přínosu praktické práce k získání praktických (manipulativních) dovedností při experimentování, není pochyb o jednoznačně pozitivním dopadu na žáky a studenty. Stejně jako i u jiných lidských činností i zde platí, že pokud si sám člověk danou činnost nevyzkouší, trvá mu perfektní zvládnutí činnosti delší dobu. Vše vyžaduje jistý trénink. Začínajícímu tanečníkovi nestačí jen nastudovat si, kterou nohou na jakou dobu kam šlápnout; při rozjíždění s autem nestačí pro dobré zvládnutí jen vyslechnout instruktora, nebo si přečíst manuál; chcete-li „nahodit“ maltu na zeď nestačí jen pozorovat mistra; . . .; při zapojování multimetru nestačí jen několikrát pozorovat vyučujícího.

U každé činnosti jsou důležité obě fáze: sledovat profesionála (člověka již v dané věci zručného), stejně jako vlastní praktický trénink.

Tento názor, ne příliš překvapivě, potvrzují i různé studie (např. již zmíněná [21]), ze kterých vyplývá, že studenti, kteří byli během výuky samostatně zapojeni do praktické práce, jsou v ní daleko zručnější.

Na druhou stranu bychom si mohli klást otázku, zda toto má být tím pravým motivem, proč začleňovat praktickou práci do výuky. Na co potřebují řemeslné dovednosti vědců i lidé v jiných oborech?

2.2.3 Získávání vhledu do vědeckých metod (cíl III.)

První otázkou, kterou bychom si měli položit, je, co jsou to vědecké metody. Jedna z interpretací říká (viz [8]), že vědecká metoda je především způsobem práce a to takovým, který je charakteristický objektivitou, systematickostí při získávání faktů a otevřenou myslí. Někteří lidé tvrdí, že toto jsou pouze obecné vlastnosti, které se stanou vědeckými pouze při aplikaci na vědu samotnou. Poněkud širší interpretace říká, že se jedná o způsob, kterým se vyvíjí vědecké znalosti. Z tohoto pohledu můžeme rozlišit:

metodu induktivního pohledu na vědu, při které se cyklí stádia „něco zkusíme“, „pozorovaný jev vysvětlíme“;

metodu hypoteticko-deduktivní, při které jde o testování hypotéz.

Jak uvádí článek [19], kurikula některých zemí, obsahují i část, která je věnována přímo tomu, že studenti řeší zcela otevřené otázky, na které nemusí být jasná odpověď, nebo odpověď nemusí být studentům vůbec známá.

Sám jsem se s tímto přístupem setkal na škole Nový PORG³, ve které v současnosti učím. Místní kurikulum kromě „klasických českých“ předmětů obsahuje i předmět Science, který je veden v angličtině podle kurikula Council of Graduate Students in Education (CGSE) a příslušných učebnic. Studenti v sekundě dostávají na začátku roku dlouhodobý domácí úkol. Nejprve si vyberou z témat, které nabídne učitel. Mohou však sami přijít s vlastními nápady. Poté mají šest měsíců na jeho zpracování, v průběhu této doby si vedou vědecký deník, do kterého musí zapisovat

³Nový PORG je soukromé osmileté bilingvní gymnázium v Praze Krči, které studenty připravuje nejen k české maturitě, ale také ke složení International Baccalaureate Diploma Programme (IB). Z toho důvodu jsou již od prvního ročníku některé předměty vyučovány v angličtině.

všechnu svou činnost spojenou s projektem - především se však jedná o zápis hypotéz, sestavení experimentů, jejich výsledky a interpretace, Na konci roku je uspořádána přehlídka, na kterou si studenti připravují vlastnoručně vytvořený poster, který shrnuje průběh a výsledky jejich práce. Studenti poté svým spolužákům - kolegům, rodičům a porotě, která je složena z vyučujících a vybraných rodičů, prezentují svůj projekt. Již několikrát jsem se coby porotce této akce účastnil a musím říci, že sami studenti ji považují za velmi prestižní (což je jistě i tím, že hodnocení projektu tvoří poměrně velkou část jejich celkového hodnocení v daném předmětu) a je až neuvěřitelné, jak skvělé nápady tito mladí „vědci“ mají. Tyto akce se mohou zdát být podobné projektové výuce, jak se s ní můžeme potkat na některé z mnoha českých škol. Co však považuji za velmi důležité je ona otevřenost otázek, které si studenti kladou, resp. jsou jim vyučujícím navrženy. Většinou tak nikdo (student ani vyučující) předem neví, jak výsledek dopadne. Toto je oproti českému přístupu jiné - zde bývají často opakovány a ověřovány již známé výsledky. To, dle mého názoru hraje velkou roli, i v samotné motivaci studentů se na něčem takovém podílet a samostatně něco tvořit - vždyť koho, by bavilo ověřovat Ohmův zákon, když už stejně v hodině několikrát slyšel, jak to dopadne. Požadavkem na dlouhodobější, či větší práci by tak, dle mého názoru, mělo být, aby se při ní studenti dozvěděli něco (minimálně pro ně) nového.

Otázkou především pro pedagogy je, co očekávají od svého působení na studenty v hodinách fyziky. Co chtějí, aby si studenti odnesli? Mají-li to být fakta o světě, ve kterém žijeme, pak jistě stačí forma přednášky; má-li to však být i povědomí o tom, co fyzika dělá jako věda, je dle mého názoru, na místě zvážit zařazení podobných projektů, jak byly popsány výše. Je to stejné jako s již popsaným působením praktické práce na rozvoj praktických dovedností. K pochopení, co je věda a jak funguje, je třeba si zkusit samostatně něco „vyzkoumat“.

Uveďme příklad studie [26], která se uvedeným tématem zabývala. Žáci ve věku 11 a 14 let měli za úkol najít správnou kombinaci čtyř vypínačů, tak aby se dal elektrický vláček do pohybu. Bylo tedy nutné systematicky projít celkem šestnáct kombinací. Při řešení tohoto úkolu však uspělo jen málo dětí. Z tohoto a podobných výzkumů vyplynul jeden důležitý poznatek a to, že žáci, kteří si dělali psané poznámky o svých pokusech, byli významně úspěšnější než ti, kteří se spoléhali jen na paměť.

2.2.4 Rozvoj vědeckých postojů (cíl IV.)

I zde je třeba se nejprve zamyslet nad tím, co jsou to vědecké postoje. Článek [27] tvrdí, že existují tři skupiny postojů.

1. *Obecné postoje vůči myšlenkám a informacím* (jako zvědavost a otevřená mysl).
2. *Postoje k hodnocení myšlenek a informací*, nebo též kritické myšlení (včetně atributů jako jsou objektivita, ochota brát v potaz důkazy a případně změnit názor).
3. *Důvěra v základní myšlenky* (jako je důvěra v pochopitelnost přírody).

Nejasnost definice vědeckých postojů vyvolává otázku o validitě nástrojů určených pro sběr dat při ověřování efektivity v tomto ohledu. S tím také souvisí různé způsoby testování a těžkosti při získávání obecných závěrů.

Nicméně jeden z výzkumů podle [8] říká, že „ačkoliv jsou důkazy, že chování učitele a způsob jakým strukturuje praktickou práci může žákům pomoci získat vědecké postoje, tak naděje, že laboratorní práce by mohla přizpůsobit studentskou zvědavost, otevřenost a ochotu řešit každodenní problémy vědecky zůstávají pouze nadějemi“. Mohou se tedy splnit, ale jasný důkaz pro toto nemáme.

2.2.5 Prostředek motivace studentů (cíl V.)

Posledním, avšak jedním z nejsilnějších motivů, proč zahrnout praktickou práci do kurikula, je motivace studentů. Ukazuje se totiž, že studenti si většinou praktickou práci užívají a mají ji rádi. Bohužel není přesně jasné, co na této činnosti mají rádi. Stejně tak je málo důkazů, že by je praktická práce motivovala k tomu učit se přírodním vědám.

Některé studie ukazují důvody, proč je praktická práce pro některé žáky vítaným zpestřením od běžných hodin výuky. [8] uvádí část z těchto důvodů:

- Je to příležitost mluvit a spolupracovat se spolužáky.
- Žákům se uleví od poslechu výkladu učitele a od psaní poznámek.
- Atmosféra je při ní pozitivní, není tak křečovitá jako v normálních hodinách.
- Žáci mohou více ovlivňovat rychlost práce a nejsou tedy ve stresu kvůli tomu, že nestíhají.

Stejně tak se ukazuje, že studenti si užívají práci, kde je jasný účel (smysl, či cíl) práce, který je pro ně výzvou a který jim dává kontrolu nad tím, co mají dělat.

3. Varianty zadání praktické práce

„Duo cum faciunt idem, non est idem.

Když dva dělají totéž, není to totéž.“

Latinské rčení.

Známé přísloví zdá se být zcela univerzální. Platí stejně tak pro pečení bábovky, jako pro vyučování fyzice. Cílem každého pekaře je uspokojit zákazníky a nasytit je. Stejný cíl má i fyzikář. Hlad po vědění se snaží ukojit a pokud možno nalákat své studenty vybranými lahůdkami na další laskominy ve formě zajímavých experimentů, nečekaných objevů, ... Každý pedagog je však individualitou, cíle každého i cesty jak jich dosahuje se musí zákonitě lišit. Naznačit, jakými způsoby je možné praktickou práci zadat a navrhnout, které z nich by byly vhodné pro IFL, je cílem této kapitoly. Poznatky vychází z průzkumu literatury a z učitelské praxe autora.

Jsem si vědom toho, že kategorizace jednotlivých způsobů zadání praktické práce by vydala na vlastní studii. To však není cílem mé práce. Proto zde uvádím spíše ty, se kterými se mohl v průběhu školní docházky setkat typický absolvent gymnázia a následně několik variací, na které jsem narazil, při studiu literatury a na konferencích, a které by byly dle mého názoru vhodným rozšířením „klasických“ metod používaných v českém fyzikálním vzdělávání.

3.1 Laboratorní práce v českých středoškolských učebnicích

Pravděpodobně nejpoužívanější řadou učebnic na českých gymnáziích je sada publikací [29] - [36] od nakladatelství Prometheus. Tato sada je postupně revidována a téměř každá z učebnic se již dočkala několikátého vydání. Součástí většiny z nich¹ je část obsahující náměty na laboratorní cvičení ve formě přímo použitelné v hodině. Seznam laboratorních cvičení, které lze nalézt ve zmíněných učebnicích shrnuje tabulka 3.1. Již takovýto přehled nám napomůže udělat si obrázek o tom, na která témata se autoři učebnic zaměřují. Z prvního porovnání byt' jen názvů těchto laboratorních cvičení a témat rozebraných v učebnici samotné je patrné, že autoři pokrývají jednotlivá témata přibližně rovnoměrně. Výjimku snad může tvořit hned

¹Kromě učebnic věnujících se speciální teorii relativity [34] a astrofyzice [36].

první z učebnic, ve které je z pochopitelných důvodů velká část připravených laboratorních cvičení zaměřena zejména na způsob zpracování měřených dat.

Nyní se dostáváme k výukovým cílům jednotlivých laboratorních cvičení. Bohužel učebnice samotné neobsahují popis cílů jednotlivých cvičení a tak se můžeme jen domnívat, jakých cílů jimi autor zamýšlel dosáhnout. Každý vyučující, který alespoň trochu přemýšlí o cílech svých hodin, se jistě pozastaví nad tím, čeho může zařazením dané laboratorní práce do vyučování u studentů dosáhnout. Je zřejmé, že tyto cíle se mohou (není-li k učebnici připojen detailní didaktický popis, jak danou aktivitu použít) oproti autorem původně zamýšleným lišit. Neboť, jak ukazuje schéma na obrázku 2.1, cíle tvůrce aktivity byly ovlivněny jeho pohledem na vědu, na proces učení i to, jak si představoval, kde a kdy bude aktivita použita. Stejným způsobem jsou ovlivněny cíle, kterých chce dosáhnout vyučující, resp. ten, kdo danou aktivitu přejímá a bude ji nadále používat. Nelze proto přesně říci, že cíle jednotlivých laboratorních cvičení jsou přesně dané.²

Daleko snáze lze charakterizovat formu, jakou jsou laboratorní cvičení v učebnicích [29] - [36] sestavena a zadávána. Ve všech případech se autoři snaží držet následující struktury:

- **Název.**
- **Pomůcky.** Zde se studenti dozví, se kterými pomůckami budou pracovat.
- **Teorie.** Je stručně připomenuta teorie, která je většinou současně detailně rozebraná ve výkladové části učebnice. Případně jsou popsány nové přístroje a způsob jak s nimi měřit (např. mikrometrický šroub, voltmetr, ...).
- **Úkol/y.** Ve většině případů je jeden, v některých cvičeních (především v tématu věnovaném elektřině a magnetismu) jich je více. Úkoly studentovi říkají, co by měl udělat. Tedy, ne co by se měl naučit, ale co by mělo být výsledkem jeho práce. Úkol je většinou psán krátce, jednou větou (např. „Určete měrnou tepelnou kapacitu daného kovu.“ [31]). V případech, kde je předpokládáno, že řešení může být složitější nebo se nabízí několik variant řešení, je úkol rozvitější a je blíže specifikován. (např. „Změřte hustotu látky, ze které je těleso nepravidelného tvaru, vážením tělesa na vzduchu a v destilované vodě o známé teplotě.“)

²Každý vyučující by zřejmě při žádosti o identifikaci výukových cílů jednotlivých laboratorních cvičení (např. dle dělení podle Millara - viz tabulky 1.1 a 1.2) dospěl k jinému závěru.

Tabulka 3.1: Laboratorní cvičení v gymnaziálních učebnicích ([29] - [36])

Učebnice	Název
Mechanika [29]	Cvičení 1 Měření délky
	Cvičení 2 Měření obsahu rovinné plochy
	Cvičení 3 Měření hustoty pevné látky
	Cvičení 4 Měření velikosti zrychlení přímočarého pohybu
	Cvičení 5 Měření součinitele smykového tření
	Cvičení 6 Měření hustoty pevné látky pomocí Archimedova zákona
Mechanické kmitání a vlnění [30]	Cvičení 1 Určení setrvačné hmotnosti tělesa mechanickým oscilátorem
	Cvičení 2 Ověření vztahu pro periodu kyvadla
	Cvičení 3 Měření rychlosti zvuku otevřeným rezonátorem
Molekulová fyzika a termika [31]	Cvičení 1 Přibližné určení průměru molekuly kyseliny olejové
	Cvičení 2 Určení měrné tepelné kapacity pevné látky užitím směšovacího kalorimetru.
	Cvičení 3 Určení teploty tělesa nepřímou metodou užitím směšovacího kalorimetru
	Cvičení 4 Ověření Hookova zákona.
	Cvičení 5 Určení povrchového napětí kapaliny z kapilární elevace
	Cvičení 6 Určení povrchového napětí kapaliny kapkovou metodou
	Cvičení 7 Určení měrného skupenského tepla tání
	Cvičení 8 Určení měrného skupenského tepla varu
Elektrina a magnetismus [32]	Cvičení 1 Měření elektrického napětí a elektrického proudu
	Cvičení 2 Určení voltampérových charakteristik spotřebičů
	Cvičení 3 Měření rezistivity kovového vodiče
	Cvičení 4 Určení závislosti odporu kovového vodiče a termistoru na teplotě
	Cvičení 5 Určení zatěžovací charakteristiky zdroje
	Cvičení 6 Určení charakteristiky polovodičové diody
	Cvičení 7 Měření indukčnosti cívky pomocí střídavého proudu
	Cvičení 8 Měření kapacity kondenzátoru pomocí střídavého proudu
	Cvičení 9 Určení rezonanční křivky sériového a paralelního rezonančního obvodu
	Cvičení 10 Ověření činnosti polovodičového usměrňovače
	Cvičení 11 Ověření činnosti tranzistorového zesilovače
Optika [33]	Cvičení 1 Měření indexu lomu
	Cvičení 2 Měření ohniskové vzdálenosti čočky
	Cvičení 3 Měření vlnové délky světla optickou mřížkou
	Cvičení 4 Měření vlnové délky světla pomocí kompaktního disku
Fyzika mikrosvěta [35]	Cvičení 1 Spektra atomů
	Cvičení 2 Zkoumání vlastností radioaktivity

- **Postup měření.** Ve většinou případů je tato část psána jako návod. Studentovi tedy říká, co dělat krok za krokem. Výjimkami jsou cvičení 2, 3, 7 a 8 z učebnice věnující se molekulové fyzice a termice [31], kde musí student na postup měření na základě znalosti toho, co by měl změřit, přijít sám.
- ***Doplňující úkol/y.** V některých cvičeních jsou připojeny doplňující úkoly, které jsou např. časově náročnější a všichni by je nestihli vyřešit nebo dávají již splněné úkoly do souvislosti s předešlými cvičeními, atd.
- ***Otázky / úlohy.** U některých cvičení jsou na konci připojeny otázky / úlohy, které mohou studentům sloužit jako námět na další zamyšlení nad problematikou, kterou řešili v rámci laboratorního cvičení.

Jelikož je zadání přímo v učebnici, studenti by si měli dělat poznámky mimo ně (do sešitů, na zvláštní papír, ...). Svoje výsledky pak zpracují a odevzdají ve formě protokolu (zprávě) o laboratorním cvičení.

Logická struktura je u laboratorních cvičení (tabulka 3.1) pak vždy jednotná. Studenti v dané situaci naměří data a následně přemýšlí, jak by mohla být shrnuta nebo vysvětlena. Tím je konkrétně myšleno, že ze získaných dat např.: vypočtou hodnotu neznámé veličiny; vynesou graf a ověří závislost jedné veličiny na druhé; porovnají údaje naměřené pro dva různé objekty; apod.

3.2 Fyzika s chutí (Physics with flavor)

Možnost na úpravu klasických laboratorních cvičení a jisté oživení přináší např. články [37], [38] M. M. Agresta, který se snaží při takové praktické práci studenty více vtáhnout do děje. Klasické části experimentu, tak jak jsou dle mého názoru chápány v českém kurikulu (prozkoumání jevu, provedení experimentu, analýza dat, diskuze výsledků a určení neznámé hodnoty veličiny související s jevem) bere pouze za první fázi ze tří.

Ve druhé fázi mají studenti za úkol na základě jimi naměřených údajů (zjištěných konstant) a matematického modelu předpovědět, jak by experiment dopadl za jiných počátečních podmínek, u experimentu na kvantitativní úrovni předpoví hodnotu proměnné, která může být naměřena v navazujícím experimentu.

Závěrečná fáze je již logickým vyústěním předchozích snah studenta. Provede experiment za upravených podmínek a měří v předchozí části předpovězenou veličinu.

Autor přináší v daných člancích [37], [38] několik konkrétních příkladů použití této metody. Osobně jsem některé z nich vyzkoušel a pokusil jsem se vytvořit i další podle daného vzoru.

Schéma provedení experimentu:

1. zjistit něco obecného,
2. předpovědět pro konkrétní situaci,
3. ověřit předpověď,

se dá přizpůsobit pro mnoho témat a experimentů. Dle mého názoru funguje velmi dobře. Z didaktického hlediska bychom mohli říci, že studenti zde projdou dvěma fázemi, nejprve od konkrétního k obecnému a poté zpět od obecného ke konkrétnímu. Tímto způsobem byl upraven i jeden z experimentů pro IFL (viz str. 123 v této práci).

3.3 Interactive Laboratory Experience Procedure (ILEP)

Dalším možným způsobem postupu při praktickém cvičení je metoda, kterou v literatuře nalezneme pod názvem „Interactive Laboratory Experience Procedure“. Tuto metodu rozvinul tým kolem Dr. M. D. Greenmana, její originální popis i připravené podpůrné materiály jsou publikovány na webových stránkách [39]. Co do struktury vychází tento systém z původních interaktivních demonstračních experimentů (Interactive Lecture Demonstration (ILD)) původně vytvořených pod vedením Dr. Ronalda Thorntona a Dr. Davida Sokoloffa [40], [41] a [42]. Díky své struktuře je tato metoda kromě procvičování či objevování poznatků o daných fyzikálních jevech zaměřena na zlepšení porozumění toho, co znamená vědecké bádání.

Studenti zde typicky dostávají pracovní list vždy s podobnou strukturou:

1. **Uvedení do problémové situace.** V této části je studentům představena teorie, děj, aparatura. Typicky je dále nastolena problémová situace.
2. **Hypotéza - vlastní.** V této části student zkusí sám za sebe předpovědět, jak daný jev dopadne. V mnoha situacích se ptáme na časový průběh veličiny, v takovém případě kreslí graf, ... *Krok 2 by měl odkrýt prekoncepce, se kterými studenti do aktivity vstupují.*

3. **Diskuze malé skupiny.** Po vlastní předpovědi pracovní skupina např. tří studentů diskutuje, snaží se dávat argumenty, proč by ta či ona předpověď měla být správná. Výsledkem by měla být jednotná předpověď za celý tým, který na daném úkolu pracuje. *Krok 3 pomáhá rozvíjet komunikační dovednosti a sebereflexi.*
4. **Diskuze velké skupiny (třídy).** Měla by být vyvolána diskuze celé třídy, resp. všech pracovních skupin. Studenti by měli představit ostatním svoje hypotézy, nebo se je pokusit alespoň okomentovat. *Krok 4 dokumentuje předpovědi celé třídy a umožňuje širší sdílení myšlenek a vyžaduje zapojení všech studentů do diskuze.*
5. **Změněná hypotéza.** Studenti by dále měli dostat možnost změnit svoji předchozí hypotézu. V postupu je podstatné, aby zaznamenali její změny, případně označili, že svoji předchozí hypotézu nemění. *Krok 5 vyžaduje a tím povzbuzuje sebereflexi.*
6. **Vlastní experiment.** Po předpovědi následuje vlastní experiment, který ji buď potvrdí, či vyvrátí. *Krok 6 zdůrazňuje to, že příroda je konečným arbitrem, který rozhodne o pravdivosti předpovědí a domněnek.*
7. **Záznam výsledků a diskuze velké skupiny (třídy).** Studenti by měli popsat a diskutovat výsledky experimentu. Žádoucí je, aby se objevil komentář případného rozdílu mezi předpovědí a výsledkem experimentu.
8. **Podobné situace.** Dále mohou být diskutovány situace, které jsou založeny na stejném konceptu nebo principu, který byl právě zkoumán. *Krok 8 napomáhá vytváření souvislostí v jiných situacích, které odpovídají např. běžným zkušenostem studentů.*

Je zjevné, že daná struktura dobře vyhovuje tzv. frontálním experimentům, tj. v situacích, kdy všechny pracovní skupiny ve třídě pracují současně se stejným vybavením na stejné aktivitě. Neumožňuje-li např. vybavení laboratoře tento postup a při praktické práci je třída členěna do skupin pracujících na jiných tématech, je dle mého názoru postup rovněž dobře použitelný - pouze je vyřazen krok 4 a v 7. kroku jde pouze o diskuzi malé skupiny.

Tímto způsobem byly rovněž zpracovány některé experimenty (str. 99, 108, 226, 231, 235 a 248) pro IFL.

Část II

Interaktivní fyzikální laboratoř

4. Projekty podobné IFL

„Pokud jsem dohlédl dále, bylo to proto,
že jsem stál na ramenou obrů.“

Isaac Newton

I když se ani vzdáleně nechceme srovnávat s Newtonem, jeho slavný výrok, který uvádí tuto kapitolu naznačuje, že Interaktivní fyzikální laboratoř (IFL), o které bude řeč v následujících kapitolách, není první a už vůbec ne jediným projektem daného typu. Je nutné si tedy prohlédnout práci kolegů a nechat se inspirovat dobrou praxí, nebo se poučit z chyb. Na dalších řádcích jsou proto představeny vybrané projekty, jejichž fungování bylo při budování IFL bráno v potaz. Jsou to projekty *House of Science* ve Stockholmu, *PhysiScope* v Ženevě a samozřejmě různá *Science centra* fungující již i v ČR.

4.1 House of Science

Skutečnou první inspirací pro vytvoření Interaktivní fyzikální laboratoře byl House of Science (ve švédštině Vetenskapens hus). Mnoho informací o tomto projektu bylo publikováno v článcích [43], [44] a [45]. Další informace lze získat na internetových stránkách [46]. Původní laboratoř se skládala ze tří místností o celkové ploše přibližně 200 m² a byla založena v květnu roku 1996. V prvním úplném školním roce, po který byla laboratoř v provozu, ji navštívilo celkem 1700 studentů a jejich učitelů. Pro zajímavost, uvádí se, že cena za vývoj a běh laboratoře v prvních několika letech byla celkem přibližně 500 tisíc liber, tj. asi patnáct miliónů korun. V roce 2001 laboratoř přerostla v již zmíněný House of Science a ten například v roce 2007 uvítal přibližně 18 000 návštěvníků. Tato instituce se kromě fyziky zaměřuje na další obory jako biologie, chemie, technika a matematika. Mezi současné cíle týmu House of science (viz [46]) patří následující:

- Být vedoucím regionálním centrem pro spolupráci škol a univerzit v oblasti vědy a techniky a přirozeným místem pro setkávání reprezentantů vzdělávání a výzkumu.
- Spolupracovat s podniky a vysokými školami, tak aby poskytly mladým lidem představu o možné kariéře ve vědě a technických oborech.



Obrázek 4.1: Pohled na House of Science.

Zdroj: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vetenskapens_hus.jpg

- Během tří let rozvinout své působení tak, aby každý z žáků studujících ve Stockholmu během svých studií alespoň jednou House of Science navštívil.

Tyto cíle stejně jako počet 24 zaměstnanců [46] dává tušit, že House of Science se rozrostl v dobře fungující organizaci.

Aktivity jsou nabízeny jak pro studenty středních tak žáky základních škol. Většina aktivit je uzpůsobena skupinkám o velikosti 16 studentů, což odpovídá přibližně polovině standardní třídy ve Švédsku. Typická návštěva trvá 1,5 hodiny. Pro tvůrce aktivit v IFL může být inspirací přehled nabízených programů s jejich krátkými anotacemi dostupný na webových stránkách [46]. Pro střední školy nyní House of Science nabízí 25 různých fyzikálních programů z nichž ne všechny jsou čistě experimentální. Mnohé z nich se zaměřují na zpracování údajů. Příkladem může být program ve kterém studenti pomocí počítačového programu analyzují spektra hvězd ze skutečných astronomických pozorování a hledají exoplanety.

V koncepci fungování laboratoře hrají velmi důležitou roli samotní učitelé, kteří sem přivádí své studenty. Mohou se podílet na výběru aktivit a pomáhat s jejich vedením. Zkušenosti ukazují, že již po několika návštěvách se v laboratoři dobře orientují a znají experimenty, takže se bez problému mohou podílet na vedení práce studentů. Ne všechny experimenty jsou klasickými laboratorními pracemi, jak je známe z českého školství, kdy studenti dostávají úkol, něco naměří a tím jejich práce končí. Řada problémů má pro studenty otevřený konec - netuší, k jakému cíli by se měli dostat. V takovém případě jsou s problémy, které je čekají, seznámeni učitelem předem ve škole. Mají tak čas se zamyslet nad tím, jak by postupovali,

a připravit si strategii. V laboratoři pak svoje hypotézy ověřují.

House of Science rovněž nabízí školení pro učitele ať již ve formě přednášek či seminářů.

Členové laboratoře se snažili rovněž získat zpětnou vazbu od návštěvníků. Toto jednoduché šetření bylo provedeno již v roce 2004 a ze 150 vyplněných dotazníků bylo zjištěno, že 50 % dotazovaných studentů si vzpomnělo na zajímavé experimenty a 30 % studentů popsalo nové poznatky a koncepty, se kterými byli konfrontováni.

4.2 PhysiScope

Projekt Physiscope byl odstartován v roce 2006 a již po dvou letech byla laboratoř otevřena. Toto vzdělávací centrum funguje při Ženevské univerzitě, a podobně jako IFL se nachází v jedné z budov univerzity, patřící do její fyzikální sekce a zaměřuje se tedy především na fyzikální témata. Podle informací (článek [47] a webové stránky projektu [48]) bylo do vzniku laboratoře investováno přes milion švýcarských franků, což při tehdejší kurzu odpovídalo asi šestnácti miliónům korun.



Obrázek 4.2: Schéma laboratoře PhysiScope. Obrázek převzat z [47].

Na co je třeba upozornit, je snaha autorů projektu dělat vše „lákavé i na první pohled“. Vše tedy působí hi-tech. To nemusí být vůbec laciné, především pokud hned na druhý pohled zjistíme, že věc, která je takto představena má nějakou myšlenku a není to jen pro oko. Uvědomme si, že nyní mluvíme o jednom z nejbohatších měst



Obrázek 4.3: Levitující židle. Experiment ve PhysiScope

Evropy, kde se „parta fyziků z univerzity“ snaží upoutat pozornost dospívajících v tom pravděpodobně nejkomplikovanějším věku. Rozhodně tedy není od věci, pokud věci působí zajímavě a lákavě už na první pohled. Sám mohu dosvědčit, že tato snaha se autorům projektu rozhodně povedla (viz např. obrázek 4.3). Jak již bylo řečeno, PhysiScope se nachází v budově fyzikální sekce Ženevské univerzity. Volné prostory získala ve sníženém přízemí starší budovy, tudíž nemá ani okna. Přesto výsledek je skutečně působivý. Studenti mají k dispozici dvě místnosti (menší přednáškový sál a samotnou laboratoř - obrázek 4.2) o celkové ploše 190 m^2 . K tomuto je možné přidat ještě menší přípravnu, která slouží i jako sklad pomůcek.

Laboratoř je primárně určena pro studenty ve věku 12 až 19 let, přičemž maximální kapacita je 28 studentů. V roce 2009, kdy jsem informace sbíral, platilo, že laboratoř navštíví měsíčně v průměru dvanáct skupin studentů za měsíc. Každá z prezentací trvá přibližně padesát minut a školy za ni v dotčené době nic neplatily. Rovněž se mi podařilo zjistit, že na prezentacích se podílí osm lidí, především studentů. Navíc několik dalších přispívá k běhu laboratoře, například tím, že pomáhají vytvářet nové exponáty. Z dostupných informací (viz [48]) je patrné, že laboratoř funguje díky sponzorským darům i nadále pro střední školy bezplatně a v říjnu 2015 nabízí celkem osm různých tematických show. Tým připravující akce pro studenty se rozrostl na více než 13 osob.

4.3 Science centra

Science centra mají ve světě dlouhou tradici. Po jejich vzoru začaly vznikat podobné projekty i v ČR. Běžný učitel a student se pravděpodobně setká právě spíše s těmi tuzemskými. Z toho důvodu se v této části věnují výhradně jim. Mezi největší science centra provozovaná v současné době v ČR patří:

- iQpark [49] a iQlandia [50] v Liberci
- Techmania [51] v Plzni
- Svět techniky [52] v Ostravě
- VIDA! science centrum [53] v Brně

V jistém smyslu se i science centra (resp. muzea) projektu Interaktivní fyzikální laboratoře (IFL) podobají. Jejich hlavním motem je právě interaktivnost, tj. to, že si návštěvníci mohou vše vyzkoušet. Fyzikální experimenty pak představují velkou část exponátů těchto center. Každý návštěvník tak může provést jednoduchý experiment, nebo prozkoumat vybraný fyzikální jev. Už z toho důvodu, že tyto instituce jsou typicky komerční, je neskrývanou snahou autorů připravovat experimenty, které návštěvníka zaujmou ať už svojí efektností, nebo tím, že se s jejich důsledky setká v běžném životě. Většinu exponátů tak lze, dle mého názoru, zařadit pod tyto dvě kategorie - efektní, související s běžným životem. Jelikož science centra cílí na dospívající, najdeme zde i množství pokusů, které souvisí s tématy probíranými ve školách. Zmíněná efektnost však nemá za cíl pouze zvýšit zisk, ale dle mého názoru ukazuje lidem to, že hezké a zajímavé nemusí být jen umělecké dílo, ale rovněž věda. Stejného principu využívá i již zmíněná švýcarská laboratoř pro studenty Physiscope.

Při většině aktivit připravených s jednotlivými exponáty návštěvníci musí provést nějakou činnost - vykonat nějakou praktickou práci. Z toho důvodu má cenu se zamyslet nad tím, které z cílů praktické práce I. - V., tak jak byly vymezeny v podkapitole 1.3 a jejichž efektivita byla diskutována v podkapitole 2.2, mohou aktivity připravené v science centrech naplňovat. Klasický exponát v science centru představuje nějaké pomůcky (ať už reálné předměty, nebo aplikaci v počítači ovládanou čím dál častěji dotykovými obrazovkami, vlastními pohyby člověka prostřednictvím 3D kamer, apod.), pomocí kterých může návštěvník prozkoumat vybraný jev, vědecký koncept nebo zjistit nějaké faktum. V tomto ohledu jistě naplňuje cíl I. (*Zvýšit znalosti a pochopení vědeckých konceptů*) a návštěvníci prohlubují svoje

znalosti a mohou se více dozvědět o tom jak jsou definovány a používány důležité koncepty a jakým způsobem fyzika popisuje okolní svět. Na základě vlastních zkušeností z návštěv různých center se domnívám, že naproti tomu cíl II. (*Zlepšit praktické vědecké dovednosti a schopnosti řešit úlohy*) je naplňován pouze z části. Běžný návštěvník, který chce projít velké množství exponátů, nestráví u většiny z nich více než pět minut. Za tu dobu jen těžko výrazně zlepší svoje praktické dovednosti související například s měřením fyzikálních veličin či zpracováním dat. Navíc drtivá většina exponátů není tímto směrem zaměřena. Na druhou stranu mnoho z nich má formu „pátrání“ po správném řešení (např. na mapě vybraného území správně rozestavit modely různých typů elektráren tak, aby celková efektivita vytvořeného systému byla co nejvyšší (brněnská VIDA!); nastavit všechna závaží upevněná k zavěšené tyči tak, aby tyč byla ve svislé poloze (liberecký iQpark); apod.) a návštěvníci hravou formou řeší různé problémové úlohy. Kromě prohlídky expozice nabízí science centra i výukové programy. Jedná se o aktivitu podobnou té, kterou poskytuje IFL. Z českých science center tuto možnost v současnosti nabízejí v jisté formě všechna. Čas vyhrazený na experimentování se pohybuje v řádu 60 až 120 minut. Při bližším prozkoumání nabízených témat na stránkách těchto center je však zřejmé, že se jedná o programy odpovídající tematicky a obtížností spíše kurikulu základní školy. Existenci této nabídky považuji za velmi přínosnou a to i z toho důvodu, že tyto aktivity mohou naplňovat i III. vzdělávací cíl (*Zlepšit vědecké myšlenkové návyky*) snáze než „jen procházka“ expozicí centra, navíc při nich mohou lépe rozvinout i svoje praktické dovednosti, neboť tyto aktivity mají často charakter laboratorních cvičení. Z ohledem na IV. vzdělávací cíl (*Rozvoj vědeckých postojů*) bychom mohli říci, že vědecká centra nabízejí návštěvníkům různou formou množství informací, interpretací skutečností. Je jen na návštěvnících, jak se k nim postaví, jak je zhodnotí, zda jim budou důvěřovat, či nikoliv. Můžeme vkládat naději do toho, že návštěvníci si nějaké nové znalosti odnesou a že v nich zážitek vyvolá, udrží nebo zvýší zájem o přírodní vědy.

4.4 Čím se inspirovat pro IFL

Jak již bylo řečeno, samotná existence IFL byla inspirována House of Science. Nicméně z tohoto projektu je možné si vzít i další podněty pro budoucí fungování IFL. Zde uvádím náměty, které jsem sestavil na základě průzkumu informací o House of Science a věřím, že při dalším rozvoji IFL by mohly být brány v potaz a mohly by pomoci dalšímu rozvoji IFL. Některé z nich se snažíme naplňovat již nyní.

- Otevřenost aktivit/úkolů. Studentům může být zadán problém bez popisu jeho řešení. Student dostává více prostoru pro vlastní bádání. Při řešení složitých problémů by takový postup velmi pravděpodobně vyžadoval dobrou přípravu studentů před samotnou návštěvou IFL a seznámení se zadáním již ve škole.
- Zapojení učitelů před i po návštěvě v IFL. Připravit pro učitele materiály tak, aby mohli studenty snáze připravit na návštěvu IFL. Připravit návrhy aktivit pro zopakování získaných znalostí a dovedností po návratu do školy.
- Zapojení učitelů během návštěvy IFL.
- Při přihlašování do IFL dát učitelům co největší možnost volby, kdy a na jaký tematický program chtějí se studenty přijít.
- Nechat se inspirovat aktivitami a výukovými programy, které svým návštěvníkům nabízí House of Science.
- Zařadit aktivity zaměřené na zpracování a interpretaci údajů naměřených při skutečných vědeckých pozorováních.

Domnívám se, že ženevský PhysiScope pro nás může být inspirací především v následujících bodech.

- Efektivnost zařazených experimentů (v rozumné míře) a s tím související design/výzdoba prostorů IFL.
- Zapojení moderních technologií.
- Začlenit do programu prvky show.

Z principu, kterým fungují, návštěvníky vzdělávají a baví science centra, by pro IFL mohlo být zajímavé následující:

- Zařazení více kratších aktivit na místo dlouhých pozorování a záznamů dat. Takovýto postup by mohl pomoci udržet aktivitu a pozornost studentů.
- Připravit aktivity ve formě pátrání podobně jako v detektivním příběhu.
- Snažit se aktivity cílit na objekty a jevy, které jsou studentům z každodenního života blízké (např. principy fungování přístrojů, zajímavosti o těchto přístrojích, jejich chování v obvyklých i nezvyklých situacích, ...).
- Začlenit do programu prvky show.

Výčet výše uvedených příkladů dobré praxe jistě není kompletní. Domnívám se však, že ani být nemůže a nemá, neboť je dán především mým vlastním pohledem na jednotlivé projekty a jejich fungování. IFL by navíc rozhodně neměla kopírovat jiný projekt. Je důležité, aby byla svá a vycházela z potřeb českých studentů a učitelů. Jednotlivé body by tak spíše měly sloužit jako náměty pro diskuze pracovníků IFL při přemýšlení nad jejím rozvojem a směřováním.

Navíc představené projekty jistě nejsou jedinými, které se blízce podobají IFL, a stále vznikají nové. Dobrým příkladem může být S’Cool LAB [54] v CERNu, který začal fungovat na začátku roku 2015. Jeho zaměření je především na částicovou fyziku a výzkum prováděný CERN. Do budoucna bude jistě zajímavé sledovat další vývoj jak této tak dalších laboratoří.

5. Koncepce laboratoře

Autory původní myšlenky vzniku laboratoře, kam by mohli docházet středoškolští studenti a sami experimentovat, byli doc. RNDr. Leoš Dvořák, CSc. a doc. RNDr. Zdeněk Drozd, Ph.D. Hlavní motivací bylo dát studentům možnost si **samostatně vyzkoušet** experimenty a pozorovat jevy, o nichž se ve škole učí, ale které jsou např. příliš náročné na vybavení, které je mimo finanční možnosti střední školy, a navázat tak na dlouholetou tradici demonstračních přednášek pro studenty středních škol, které Katedra didaktiky fyziky Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy v Praze organizuje. Tyto přednášky jsou velmi žádané, každý rok se jich zúčastní bezmála pět tisíc studentů, avšak nenabízí možnost samostatné praktické práce studentů. Dát takovou možnost středoškolákům je hlavním motivem IFL. Jak již bylo zmíněno v předešlé kapitole 4, hlavní inspirací byl House of Science ve Stockholmu.

5.1 Před spuštěním. Jak to vidí učitelé. (Dotazníkové šetření)

Před samotnou realizací projektu měli samozřejmě tvůrci původní myšlenky jistou představu o budoucím vzhledu, programu a způsobu fungování laboratoře. Bylo však nutné mezi učiteli zjistit, zda na takovouto nabídku bude existovat i poptávka a zda budoucí aktivita lidí zapojených do tvorby materiálů a koncepce laboratoře nepřijde vnívat. Za tímto účelem jsem vytvořil dotazník, který byl v dubnu 2009 distribuován mezi učiteli. Hlavním cílem dotazníku bylo zjistit, zda by učitelé měli zájem o návštěvu laboratoře, kde by mohli sami studenti aktivně pracovat na zajímavých pokusech. V této otázce jsem samozřejmě očekával, že oslovení učitelé budou reagovat v drtivé většině kladně. Mezi další cíle dotazníku patřilo zjistit např.: kolik času by měli na podobnou aktivitu učitelé na školách k dispozici, jaká témata by je nejvíce oslovila; apod.

Dotazník měl pouze webovou formu. Jeho tištěná verze je v příloze (str. 305 - 307). Elektronická verze byla zvolena kvůli jednoduchosti sběru dat i od mimopražských učitelů. Další její výhodou (oproti papírové verzi) je jednoduchost zpracování nasbíraných dat.

Hlavní závěry byly publikovány ve sbornících z konferencí, na kterých byl přednesen příslušný příspěvek, konkrétně se jedná o konferenci Veletrh nápadů učitelů fyziky 14 v Brně (článek [118]), konferenci Week of Doctoral Students 2009

na MFF UK v Praze (článek [55]). Celkové shrnutí bylo provedeno v příspěvku „Activities for high school students - from demonstration experiments to an interactive laboratory“, který jsem přednesl na mezinárodní konferenci GIREP 2009 v Leicestru.

5.1.1 O dotazníku obecně

Dotazník obsahoval celkem 38 otázek rozdělených do následujících sedmi skupin:

1. O škole, kde učím
2. Údaje o mě (*o učiteli*)
3. Já (*učitel*), pokusy na KDF a můj zájem o IFL
4. Seznámení se (*učitele*) s laboratoří před návštěvou se studenty
5. Studenti v laboratoři
6. Webové stránky IFL, učitel a studenti
7. Místo pro vzkazy

Vyučující byli požádáni o vyplnění dotazníku prostřednictvím elektronické pošty a prostřednictvím článku na FyzWebu [56]. Celkem bylo prostřednictvím e-mailu obesláno 50 vyučujících, kteří se svými studenty navštěvují *fyzikální pokusy pro střední školy* na KDF MFF UK v Praze, a dalších 142 e-mailů bylo směřováno na vybrané pražské střední školy. Šetření probíhalo v termínu duben - srpen 2009. Celkem bylo získáno 42 vyplněných formulářů (včetně mimopražských učitelů).

V části 5.1.2 až 5.1.7 jsou prezentovány a interpretovány výsledky dotazníku. Jeho tištěná verze je v příloze (str. 305 - 307).

5.1.2 Část 1 a 2

V první a druhé části (*O škole, kde učím* a *Údaje o mě*) byly otázky, které sloužily k získání informací o pisateli a škole, na které učí.

První otázka (1.1) zjišťovala, v jakém typu školy učitel pracuje, na výběr byly možnosti: gymnázium, střední odborná škola technického typu a střední odborná škola netechnického typu. Jak je patrné z tabulky 5.1, většina učitelů, kteří dotazník vyplnili, učila na gymnáziích.

Pravděpodobně díky tomu, že dotazník byl přímo adresován (pomocí elektronické pošty) pouze učitelům pražských škol, většina odpovědí přišla (otázka 1.3)

Tabulka 5.1: Typy škol

Typ školy	Počet
Gymnázium	31
SOS technická	7
SOS netechnická	4

právě od nich (33), dotazník rovněž vyplnili tři učitelé z Ústeckého kraje, dále již jednotlivci z některého z dalších krajů. Všichni učitelé zakřížkovali, že chtějí být informováni o budoucích akcích v IFL.

5.1.3 Část 3: Já, pokusy na KDF a můj zájem o IFL

První otázka (3.1) zjišťovala, zda a jaké zkušenosti mají učitelé s demonstračními pokusy pro SŠ, které KDF MFF UK v Praze pořádala (viz http://kdf.mff.cuni.cz/vyuka/ss_pokusy/). Výsledky shrnuje tabulka 5.2.

Tabulka 5.2: Odpovědi na otázku: „Jaké mám zkušenosti s (demonstračními) pokusy pro středoškoláky, které pořádá KDF (viz průvodní dopis)?“

Stanovisko	Počet odpovědí
Nikdy jsem o nich neslyšel/a	3
Znám je, studenti je někdy navštívili	8
Znám je, studenti je pravidelně navštěvují	15
Slyšel jsem o nich, naši studenti je nenavštívili	16

Ve druhém bodě této části, tvrzení (3.2), že „vytvořit takovou laboratoř (IFL) je dobrý nápad“, označili všichni pisatelé za pravdivé. Navíc 33 z nich přidalo komentář, ve kterém svoje stanovisko odůvodnili. Všechny odpovědi jsou uvedeny příloze E.1 na CD. Výsledky podporují (viz. tabulka 5.3) naši domněnku o nedobré materiálovém vybavení středních škol.

Cílem otázky (3.4) bylo zjistit zájem učitelů o návštěvu IFL. Tabulka 5.4 ukazuje získané výsledky. Stejně jako v předchozím případě i zde jsou výsledky pozitivní. Až na jednoho respondenta, který na otázku neodpověděl, se všichni k návštěvě staví pozitivně.

Následující otázka (3.5) byla opět otevřená a zjišťovala, co od laboratoře jako je IFL učitel očekává. Souhrn všech odpovědí je uveden v části E.1. Očekávání, která byla v této položce identifikována, shrnuje i s četností jejich výskytu tabulka 5.5. Ukázalo se, že někteří respondenti odpověď na tuto otázku již implementovali do položky 3.3.

Tabulka 5.3: Odpovědi na otázku: „Proč je založení IFL dobrý nápad“. Tato otázka byla otevřená. Na základě odpovědí respondentů (viz oddíl E.1) byly vytvořeny následující možnosti a jejich četnost byla zaznamenána.

Myšlenka	Počet výskytů v odpovědích
Provedení experimentů, k nimž není na SŠ potřebné vybavení.	18
Oživení (zpestření) výuky.	6
Seznámení s prostředím (laboratoře) na VŠ.	3
Jiní lidé.	3
Studenti budou pracovat samostatně (praktická zkušenost studentů).	3
Zvýšení zájmu o fyziku (motivace).	3
Jiné formy výuky a modernizace výuky fyziky.	2
Názorné přiblížení fyzikálních jevů.	2
Látka navíc a méně obvyklé pokusy.	2
Nedostatek času na SŠ.	1
Opakování (shrnutí) učiva.	1

Tabulka 5.4: V budoucnu bych chtěl/a společně se svými studenty IFL určitě navštívit.

Stanovisko	Počet odpovědí
Nevyplněno	1
Ano, určitě budeme chodit pravidelně	10
Ano, vyzkouším	23
Pravděpodobně ano	8
Nemám zájem	0

Tabulka 5.5: Odpovědi na otázku: „Co od laboratoře jako je IFL očekávám“. Tato otázka byla otevřená. Na základě odpovědí respondentů (viz oddíl E.1) byly vytvořeny následující možnosti a jejich četnost byla zaznamenána.

Myšlenka	Počet výskytů v odpovědích
Možnost vidět na SŠ nedostupné přístroje a experimenty	10
Podpora výuky (souvislost s učivem SŠ)	4
Náhled pro žáky v dané fyzikální problematice	4
Probuzení zájmu o studium přírodních věd	4
Inspirace pro učitele (ukázka přínosné metodiky, nové a pestré experimenty)	3
Nové poznatky pro studenty	3
Demonstrační pokusy (provádí pracovníci IFL)	2
Samostatné experimentování studentů	2
Atraktivita	2
Jiné prostředí	2
Provedení laboratorní práce	1
Nezávislost na doprovodu	1
Objevitelské experimenty	1
Nenáročnost experimentů na provedení	1
Časová flexibilita ohledně různých RVP	1
Praktické aplikace (souvislost s praxí)	1
Odborní asistenti	1
Možnost odnést si naměřená data domů	1

5.1.4 Část 4: Seznámení se s laboratoří před návštěvou se studenty

Na otázku 4.1 všichni respondenti vybrali kladnou odpověď, tj. že se chtějí seznámit s tím, jak se bude v laboratoři pracovat. V následujícím bodě bylo zjištěno, že 39 z celkového počtu 42 učitelů by ráda navštívila kurz v IFL, přičemž devíti by nevald celodenní kurz a třiceti by vyhovoval kurz, který by trval pouze půl dne. Z těch, kteří vyplnili i termínovou část, většina (13) preferuje pracovní dny, srovnatelné (i když menší) části (11) je to jedno a pro víkend je nejmenší počet učitelů (5). Virtuální prohlídka je zajímavá pro 37 dotázaných. 40 respondentů by bylo pro zveřejnění materiálů na internetu, přičemž jedna polovina se přiklání k tomu, aby byly materiály chráněny heslem a poskytnuty jen zaregistrovaným učitelům a druhá polovina se kloní k volné dostupnosti materiálů.

Konkrétní očekávání, která od seznamovacího kurzu učitelé mají, vyplnilo celkem 23 z nich. Všechny jsou k nahlédnutí v části E.1 na přiloženém CD. Nejvíce zastoupena byla myšlenka (v 18-ti případech) seznámení s experimenty, materiály a možnostmi laboratoře, nejlépe na úrovni podrobnější než jak bude prezentována studentům. Dále byla učiteli zmíněna myšlenka dalšího sebevzdělávání (5 krát), či možnost vstoupit do přípravy programu pro studenty (3 krát).

5.1.5 Část 5: Studenti v laboratoři

Tato část si kladla za cíl zjistit, o jaká témata by byl největší zájem a kterým směrem máme upřít svoji pozornost nejdříve.

V bodě 5.1 měli učitelé obodovat svůj zájem o praktické úlohy z šesti velkých tématických celků tak, jak jsou probírány na střední škole, tj. mechanika, molekulová fyzika a termika, mechanické kmitání a vlnění, elektřina a magnetismus, optika, fyzika mikrosvěta. Každému tématu mohli přidělit od 5-ti (největší zájem) do 0 bodů (nemám zájem). Výsledky shrnuje tabulka 5.6.

Tabulka 5.6: Zájem o praktické úlohy z jednotlivých oblastí středoškolské fyziky.

Téma	Celkový počet bodů	Medián udělených bodů
Elektřina a magnetismus	176	5
Fyzika mikrosvěta	175	5
Optika	172	5
Mechanické kmitání a vlnění	154	4
Molekulová fyzika a termika	145	3
Mechanika	142	3,5

V bodě 5.2 bylo zjištěno, že většina (33 ze 42 učitelů) si přeje mít možnost upravit kurz dle vlastních požadavků. V otázce 5.3 se učitelé rozdělili na dvě přibližně stejně velké skupiny, kde jen o málo více z nich si přeje podílet se na vedení kurzu. Konkrétní výsledky u jednotlivých otázek udává tabulka 5.7.

Tabulka 5.7: Počet vybraných možností v bodě 5.3 „Chci se při návštěvě se studenty podílet na vedení kurzu?“

Varianta	Počet hlasů
Ano, chci být hlavním vedoucím kurzu. Od pracovníků IFL očekávám pouze pomocnou ruku.	2
Ano, chci se podílet, ale hlavní slovo by měli mít pracovníci IFL.	22
Ne.	18

Další otázka zjišťovala, které konkrétní experimenty by učitelé v IFL rádi viděli. Jednalo se o otevřenou otázku a učitelé tak mohli psát libovolné podněty. Tuto položku vyplnilo pouze 7 respondentů. Kompletní odpovědi jsou v části E.1.

Otázky 5.5 a 5.6 zjišťovaly s jakou skupinou studentů by učitelé rádi přišli. Na otázku 5.5 „IFL bych chtěl/a nejraději navštívit s ...“ učitelé odpovídali takto: Pro první variantu „celou třídou“ hlasovalo 17, pro variantu „vybranými studenty (studenty semináře, ...)“ 20 učitelů a pro „jiný návrh“ zbývajících 5 pedagogů. Tito svoji odpověď komentovali vždy podobně, tj., že „záleží na situaci, na jednodušší experimenty je možné vzít celou třídu, na vybrané studenty semináře“, apod. Otázka 5.6 pak byla ještě konkrétnější a pátrala po ideální velikosti skupiny studentů. Na výběr bylo dáno sedm intervalů z nichž každý respondent mohl vybrat právě jeden. Výsledky hlasování v této otázce shrnuje tabulka 5.8.

Tabulka 5.8: Četnost vybraných možností v bodě 5.6 „Skupina, se kterou navštívím IFL, by podle mě měla mít ideálně ... studentů.“ Jeden z učitelů nevybral ani jednu z možností.

Velikost skupiny	1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20	21 - 25	26 - 30	31 - 35
Počet hlasů	0	3	20	7	4	5	2

Otázka 5.7 se dotazovala, kolik času jsou v IFL učitelé ochotni se svými studenty strávit. Na výběr bylo dáno 6 možností, s tím, že nejkratší reálná varianta, za kterou lze smysluplně stihnout laboratorní experiment, byla stanovena na 90 minut. Výsledky shrnuje tabulka 5.9.

Tabulka 5.9: Četnost vybraných možností v bodě 5.7 „Jedna návštěva v IFL by podle mě měla mít ideálně ...“

Délka návštěvy	90 min	3 h	4 h	6 h	více
Počet hlasů	20	16	6	0	0

Učitelé dále projevíli zájem (otázka 5.8), aby se spíše než odpoledne (5 hlasů) návštěva odehrávala v dopoledních hodinách (37 hlasujících). Dále pak (otázka 5.9) dali přednost práci ve dvojicích (26 hlasů), před prací studentů ve větších skupinkách (16 hlasů) a prací jednotlivců (0 hlasů). I následující otázka dotazníku 5.10 zjišťovala názor učitelů na způsob práce studentů v laboratoři. Tentokrát se jednalo o to zjistit, zda úkoly, které budou studenti plnit musejí být stejné, či si učitelé dokáží představit situaci, že jednotlivé skupinky studentů budou pracovat na rozdílných experimentech. Na výběr byly tři předpřipravené varianty a jedna, kterou mohli učitelé sami navrhnout. Počet hlasů udává tabulka 5.10.

Tabulka 5.10: Četnost vybraných možností v bodě 5.10 „Myslím, že jednotlivé skupinky studentů (popř. jednotliví studenti) by měli pracovat ...“

Možnost	Počet hlasů
Na stejných úkolech.	4
Na různých úkolech s tím, že na konci návštěvy budou ostatním prezentovat, čím se zabývali.	26
Na různých úkolech, bez prezentace ostatním.	3
Jiný návrh.	9

Většina (6) z jiných pedagogů navrhovaných možností udávala, že záleží na situaci a takovouto věc nelze rozhodnout obecně, nicméně se přikláněli k první či druhé námi navrhované možnosti. Dvě odpovědi poté obsahovaly návrh, aby studenti pracovali na různých úkolech, avšak byla dána možnost rotace na jednotlivých pracovištích. Jeden návrh upravoval třetí původně nabízenou variantu a to v tom, že studenti mohou prezentovat svoje výsledky až ve škole.

V předposlední otázce 5.11 této části dotazníku jsme zjišťovali, zda učitelé předpokládají, že studenti budou (kromě případné prezentace) vypracovávat nějakou formu protokolu či pracovního listu. Opět byly dány tři pevné možnosti a jedná volná, ve které se mohli učitelé rozepsat. Výsledky shrnuje tabulka 5.11. Jiné návrhy, se kterými učitelé přišli, poukazovaly na to, že záleží na konkrétním experimentu a že někde je lepší využít výhod protokolu, jinde pracovních listů.

Tabulka 5.11: Četnost vybraných možností v bodě 5.11: „Podle mě by studenti ještě měli (kromě případné prezentace svých pokusů a výsledků spolužákům ještě v laboratoři): ...“

Možnost	Počet hlasů
Vypracovat protokol o měření.	4
Vyplnit předpřipravené materiály, které poskytne IFL.	31
Žádný další výstup.	1
Jiný návrh.	6

5.1.6 Část 6: Webové stránky IFL, učitel a studenti

Téměř každý projekt je v dnešní době nutné prezentovat na internetu, proto se další část dotazníku zaměřovala tímto směrem. V první otázce (6.1) byla dána řada věcí, které by se mohly na internetových stránkách objevit s tím, aby učitelé vybrali ty, o kterých si myslí, že je využijí. Následující tabulka 5.12 udává jejich přehled

i s počtem hlasů.

V následujících dvou otázkách jsme zjišťovali, jaké materiály by měli mít učitelé (otázka 6.2) a studenti (otázka 6.3) k dispozici na webových stránkách projektu. Všechny jednotlivé odpovědi jsou uvedeny postupně v části E.1 na přiloženém CD. Jelikož se jednalo o otevřené otázky a každý z respondentů formuloval svoje myšlenky různě, vytvořil jsem na jejich základě kategorie, do kterých jsem náměty zařazoval a počítal četnost jejich výskytu. Tak bylo možné získat tabulky 5.13 a 5.14, která tak poskytují informace o výsledcích těchto položek dotazníku přehledněji než výčet všech odpovědí. Nepřekvapí, že dle názoru učitelů by se na internetových stránkách měl objevit přehled pokusů a jejich popis. Pro sebe by na nich učitelé rádi měli ukázky výsledků experimentů, popsanou teorii, metodiku k jednotlivým pokusům, stejně jako informace organizačního charakteru, a další. V otázce, co by měly webové stránky obsahovat z pohledu studenta, učitelé zdůraznili možnost prostudovat si návody na přípravu a provedení experimentů, přehled potřebné teorie, zadání otázek a úkolů, pracovní listy, atd.

Tabulka 5.12: Četnost vybraných možností v bodě 6.1: „Myslím, že na webových stránkách IFL určitě využiji (lze zaškrtnout více položek): ...“ Položky byly seřazeny podle četnosti.

Aplikace na webových stránkách	Počet hlasů
Seznam dostupných experimentů v jednotlivých tématech	40
Materiály k jednotlivým experimentům pro učitele	39
Elektronická rezervace návštěv	36
Materiály k jednotlivým experimentům pro studenty	35
Seznam volných termínů pro návštěvu IFL	32
Kalendář dalších akcí pořádaných v IFL	32
Virtuální prohlídku laboratoře	30
Diskuze pro studenty a učitele	24
Fotogalerie z akcí	12
Jiné	1

Tabulka 5.13: Odpovědi na otázku: „Co by měly obsahovat materiály určené učitelům“. Tato otázka byla otevřená. Na základě odpovědí respondentů (viz oddíl E.1) byly vytvořeny následující možnosti a jejich četnost byla zaznamenána.

Myšlenka	Počet výskytů v odpovědích
Přehled pokusů a jejich popis	13
Výsledky experimentů, vzorové hodnoty, řešení pracovních listů	7
Teorie k experimentům	6
Metodika, očekávané výstupy a cíle jednotlivých aktivit	5
Organizační informace (velikost skupin, možnost výběru experimentů, ...)	4
Návody na provedení pokusů	3
Náměty na další práci se studenty rozšiřující aktivity v IFL, příklady na procvičení	3
Pracovní listy, materiály pro studenty	3
Seznam pomůcek	2
Popis častých chyb studentů	2
Zařazení experimentů do příslušného tematického celku	1
Praktické provedení experimentu	1
Přehled znalostí studentů potřebných pro zvládnutí experimentů	1

Tabulka 5.14: Odpovědi na otázku: „Co by měly obsahovat materiály určené studentům“. Tato otázka byla otevřená. Na základě odpovědí respondentů (viz oddíl E.1) byly vytvořeny následující možnosti a jejich četnost byla zaznamenána.

Myšlenka	Počet výskytů v odpovědích
Návody na přípravu a provedení experimentů	10
Teorie	8
Otázky a úkoly	5
Pracovní listy	3
Předpřipravené tabulky pro záznam naměřených dat	2
Stručný popis experimentů	2
Požadavky na výstup (co by měli studenti vypracovat)	1
Obrázky	1
Praktické provedení experimentu	1
Co prostudovat doma	1
Seznam pomůcek	1
Motivační materiály	1
Zkušenosti studentů	1

5.1.7 Shrnutí výsledků dotazníku

Dotazník mezi učiteli ukázal, že má smysl rozvíjet podobné snahy a vytvářet možnosti, kterých by mohli někteří učitelé a jejich studenti využít. Všech 42 učitelů bylo ve svých reakcích a postojích k myšlence IFL velmi vstřícných. Nutno říci, že ne všichni oslovení učitelé odpověděli a tak mohou být tyto výsledky zkresleny výběrovým efektem. Tedy ti, kteří považovali IFL za špatný a nepřínosný projekt, dotazník vůbec nevyplnili. Pokud by tomu tak bylo, znamenalo by to, že přibližně pětina oslovených učitelů má zájem a to není vůbec špatné. Bylo tedy možné předpokládat, že IFL nebude mít o návštěvníky nouzi.

Dotazník rovněž ukázal, že učitelé od IFL neočekávají pouze experimenty s drahými přístroji, které oni sami nemají k dispozici, ale rovněž dobré nápady, inovace a to jak z hlediska konkrétních námětů na pokusy, tak z hlediska metodiky praktické práce v rámci didaktiky fyziky (viz část 5.1.3 tabulka 5.5 a část 5.1.6 tabulka 5.13). Můžeme tak usuzovat na to, že učitelé by rádi, aby nové poznatky získali nejen jejich studenti, ale také oni sami.

Průzkum rovněž pomohl odhalit, na které partie fyziky bychom se měli především zaměřit a pro která témata připravovat experimenty. Ukázalo se, učitelé nejvíce stojí o experimenty a témata z oblastí Elektřina a magnetismus, Fyzika mikrosvětla a Optika. Druhou, o něco méně žádanou, skupinou jsou pak témata typu Mechanické kmitání a vlnění, Molekulová fyzika a termika, Mechanika. Věřím, že je důležité zamyslet se nad tímto rozložením a položit si otázku: „Proč hlasování o tématech dopadlo právě takto?“ Podíváme-li se na první skupinu témat, může nás napadnout, že se jedná o témata, která jsou z běžného života sice známá (většina z nás používá ke svícení elektrický proud, velmi často slyšíme o magnetické rezonanci, či protonové terapii, každý z nás vlastní přirozené detektory světla), ale jejich principy jsou skryté, nejsou jasné na první pohled a jejich pochopení vyžaduje poměrně velkou dávku představivosti. Naproti tomu druhou skupinu tvoří témata, která jsou povětšinou uchopitelná snáze, což můžeme doložit tím, že i z historického hlediska byly tyto oblasti popsány a pochopeny dříve. Je pravděpodobné, že podobné uspořádání témat bychom dostali i v případě, byla by-li položena jiná otázka, např. „Která témata jsou pro vyučujícího na výuku nejnáročnější?“, nebo „Která témata dělají studentům největší problémy?“ To mě vede k hypotéze, že i když paradoxně nejvíce hlasů získalo téma, o kterém bychom to na první pohled nemuseli říci, poněvadž je mu na velké části gymnázií věnován téměř celý školní rok, a i „jednoduchých“ pokusů je velké množství, jsou to pravděpodobně právě dobré metodické materiály k pokusům

z této oblasti, o které mají učitelé pro sebe a svoje studenty zájem. Neboť, jak již bylo zmíněno v předešlém odstavci, i sami učitelé se nechají rádi poučit. Každý tvůrce experimentů a materiálů pro IFL by se tedy měl snažit hledat experimenty, které jsou nejen náročné na vybavení, ale i takové, které jsou inovativní, případně ne příliš známé a jejichž prozkoumání napomůže lepšímu pochopení fyzikálních jevů.

Na základě výsledků tohoto dotazníku byl upřesněn první pohled na to, jak by měla vypadat návštěva skupiny studentů v Interaktivní fyzikální laboratoři. Následující výčet dává souhrn vybraných vlastností typické návštěvy IFL.

- Učitel si na internetových stránkách rezervuje volný termín s daným tématem.
- Učitel si může vybrat konkrétní aktivity v daném tématu.
- Učitel si na internetových stránkách prohlédne seznam dostupných experimentů v jednotlivých tématech, stejně jako materiály k jednotlivých experimentům.
- Studenti si na internetových stránkách projdou materiály k experimentům, na kterých budou pracovat.
- Skupina má velikost 11 - 15 studentů.
- Délka návštěvy se pohybuje okolo 90 minut.
- Studenti pracují ve dvojicích na různých úkolech, při tom vyplní materiály (pracovní listy) připravené IFL a na konci svoje výsledky prezentují ostatním.
- Průběh řídí pracovníci IFL, učitelé jsou jim nápomocni a zapojují se při pomoci studentům.
- Práce studentů je hodnocena společně učitelem a pracovníky IFL, případně studenty samotnými.

5.2 Aktivity v IFL do konce školního roku 2012/2013

Výše zmíněný dotazník posloužil i jako podklad pro grant „FRVŠ 948/2010 Multifunkční laboratoř pro rozvoj fyzikálního vzdělávání budoucích učitelů a dalších studentů Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy“, který získal doc. Zdeněk Drozd na materiálové vybavení laboratoře. Díky němu, podpoře vedení fakulty a několika dalším grantům tak laboratoř v průběhu let 2008 - 2012 získala skutečnou podobu dvou místností, s optickou kójí, přípravnou a nezanedbatelným množstvím

kvalitních pomůcek. V průběhu této doby se v IFL odehrálo množství seminářů pro studenty MFF UK v Praze, několikrát zde proběhly akce jako Jeden den s fyzikou a Den otevřených dveří. V průběhu této doby sem rovněž docházeli studenti různých gymnázií, především pak Mensa gymnázia, kteří zkoušeli pod vedením pracovat na nejrůznějších experimentech. V rámci projektu „OP Praha - Adaptabilita: Přírodní vědy a matematika na středních školách v Praze aktivně, aktuálně a s aplikacemi“ [57] realizovaného v období 1. 4. 2010 - 30. 9. 2012 zde probíhaly kurzy pro učitele v rámci jejich dalšího vzdělávání a na nich byly pilotovány sady experimentů vytvořené v rámci tohoto projektu.

Ve školním roce 2012/2013 se fungování laboratoře ještě více přiblížilo zamýšlené podobě. Interaktivní fyzikální laboratoř mimo výše zmíněné aktivity navštívili zcela noví studenti ze středních škol pod vedením svých pedagogů, kteří se před tím objednali na termín, který jim vyhovoval. Pro daný školní rok jsme pracovali s variantou, že sami učitelé přijdou s vlastním termínem a požadavkem na téma, které bychom pro jejich studenty připravili. Po dání požadavku od učitelů jsem nejprve, jakožto správce laboratoře, kontaktoval studenty doktorského studia, kteří si dříve sami pokusy vyzkoušeli a zjistil, zda jim daný termín vyhovuje. Následně byl termín učiteli potvrzen. Jako kompletní témata byla nabízena Elektrostatika a Elektrický proud, experimenty v této lekci vycházely z experimentů připravených v rámci výše zmíněného projektu OPPA [57] a mimo jiné byly uveřejněny v publikaci [58]. Dále „na zakázku“ studenti absolvovali téma Optika, které do té doby nebylo zcela dobře zpracováno. Ve všech případech se jednalo o studenty středních škol.

Každé téma obsahovalo čtyři sady experimentů, což odpovídalo čtyřem skupinám studentů, kteří na nich pracovali. Každá skupina měla vždy maximálně čtyři členy. Dohromady tak do IFL docházely skupiny studentů o velikosti maximálně šestnáct studentů. Průběh návštěvy odpovídal stanovené podobě, tj. studenti během většiny času pracovali na svém stanovišti a na závěr všem ostatním prezentovali své téma a experimenty společně s výsledky, kterých dosáhli. Čas strávený v laboratoři byl vždy minimálně 90 minut, ale většinou se pohyboval kolem dvou hodin. Horní časové omezení bylo dáno především ze strany škol. Každá skupinka studentů měla na prezentaci pět či o málo více minut. Pro některé skupiny, které měly více času, jsme navíc po konzultaci s pedagogy připravili několik demonstračních pokusů. Ty byly v některých případech začleněny na úvod, v některých na konec návštěvy.

V tomto roce se tedy potvrdilo, že čtyři stanoviště obsazená čtyřmi skupinkami studentů (po maximálně čtyřech studentech) je dobré schéma. Ukázalo se, že čas, který je nutné pro jednu skupinu studentů rezervovat, je přibližně 120 mi-

nut. Závěrečné miniprezentace se ukázaly jako vhodná metoda shrnutí probraných témat. Naopak se zcela neosvědčil zvolený způsob rezervace termínů návštěv v IFL. Pro následující rok byl proto zvolen způsob opačný, ve které byly vypsány termíny společně s tématem, a učitelé se ně mohli hlásit.

5.3 Aktivity v IFL ve školním roce 2013/2014

Jak již bylo zmíněno v předchozím odstavci, pro tento školní rok byl oproti předchozímu zvolen jiný typ přihlašování. V září jsme vypsali termíny na první pololetí, termíny na druhou polovinu školního roku v lednu. Návštěvy byly plánovány na vybrané středy a úterky, vždy v dopoledních hodinách. Na vybraný den byly vypsány termíny pro dvě skupiny studentů, první od 8:30 hod do 10:30 hod a druhý od 11:00 hod do 13:00 hod. Termíny se vždy po jejich vypsání a informování učitelů¹ brzy zaplnily.

Došlo k rozšíření nabízených témat. Kromě již vyzkoušeného tématu Elektrostatika byly rovněž začleněny experimenty z oblasti Termodynamiky a Mechaniky. V posledním jmenovaném celku byly sestaveny dvě sady experimentů, konkrétně *Rotační pohyb* a *Mechanické kmitání a mechanika tuhého tělesa*. Množství opakování kurzů shrnuje tabulka 5.15. Bližší popis sad experimentů je v kapitole 7.

Tabulka 5.15: Témata kurzů v IFL a počet jejich opakování ve školním roce 2013/2014.

Téma	Počet opakování
Elektrostatika	10
Termodynamika	13
Rotační pohyb	10
Mechanika tuhého tělesa, mechanické kmitání	6

Jako pozitivní se ukázala i změna, která byla učiněna v tématech Rotační pohyb a Mechanika tuhého tělesa, mechanické kmitání. Oproti předchozím tématům (Elektrostatika a Termodynamika) byly kurzy sestaveny tak, že studenti pracují opět ve čtyřech skupinkách a jsou pro ně připravena čtyři stanoviště. Na každém z nich však bylo připraveno méně experimentů a tak mohly všechny skupinky projít všemi stanovišti. Na konci byly opět zařazeny krátké miniprezentace, jejichž hlavním motivem

¹Učitelé byli informováni prostřednictvím webových stránek IFL a Katedry didaktiky fyziky MFF UK v Praze. Navíc byl rozeslán email učitelům, kteří navštěvují již zmíněné Demonstrační pokusy pro SŠ.

nyní nebylo shrnout, co se na daném stanovišti dělo kvůli tomu, že by to zbytek studentů nevěděl, ale kvůli tomu, aby byla případně vyvolána diskuze a jednotlivé skupinky mohly porovnat svoje výsledky. Na základě zkušeností pomocníků v IFL a reakcí zúčastněných učitelů mohu říci, že tento postup se rovněž osvědčil a věřím, že je možné ho i nadále používat. Oproti systému, ve kterém studenti zůstávají na jednom místě a řeší experimenty na jednom stanovišti v rámci jednoho tématického celku, má tu výhodu, že pokud studentovi jedno téma úplně „nesedne“, má šanci si vyzkoušet i něco jiného.

V IFL jsme tak začali využívat dva možné scénáře návštěvy studentů v IFL (viz obrázek 5.16), které se liší v tom, že ve variantě A zůstává skupinka studentů na jednom stanovišti a ve variantě B skupinky postupně prochází všechna stanoviště. Tabulka současně shrnuje aktivitu zúčastněných osob, tj. studentů, vyučujícího a pracovníků IFL. U obou variant jsme pozorovali jisté výhody i nevýhody. Výhody jsou zmíněny v následujícím výčtu. Nevýhody explicitně vypisovány nejsou, jsou pouze negací benefitů druhé varianty.

Výhody lekce v IFL ve variantě A

- Studenti pracují vlastním tempem a nejsou nuceni vejít se do kratšího vymezeného času. Rychlejší skupiny nemusí čekat na pomalejší.
- Tematická oblast jednoho stanoviště je probrána do větší hloubky.
- Je možné začlenit náročnější experimenty, tj. na příklad takové, které vyžadují naměření velkého množství dat, nebo při kterých zkoumaný jev probíhá delší dobu.
- Větší možnost přizpůsobit program individuálním potřebám studentů. Rychlejší skupiny mohou získat práci navíc, je více času pro vyjasňování nejasností, apod.
- Jednodušší organizace lekce v IFL.

Výhody lekce v IFL ve variantě B

- Větší pestrost činností, které studenti během návštěvy IFL provádějí. Pokud jedno téma (stanoviště) skupině studentů „nesedne“, nebaví je, . . . , existuje možnost, že na dalším stanovišti to bude lepší.
- Ve škole se může učitel snáze odvolávat na znalosti a dovednosti získané v IFL, neboť všichni studenti prošli stejnými aktivitami.

Tabulka 5.16: Časový plán lekcí v IFL ve variantách A a B.

Čas	Co se děje v laboratoři	Aktivita zainteresovaných osob		
		Student	Učitel	Pracovník IFL
5 min	Úvod Přivítání studentů; seznámení s instruktory, programem, prostorem laboratoře a časovým plánem. Zadání úkolů. Zdůraznění prezentace výsledků na konci cvičení.	Poslouchá. Klade otázky.	Poslouchá. Klade otázky.	Hovoří ke studentům. Zodpovídá otázky.
90 min	Praktická práce studentů Studenti pracují ve skupinkách na zadaných úkolech. Varianta A Studenti jsou po celou dobu vlastní praktické práce na jednom stanovišti. Varianta B Studenti v rámci své praktické práce vystřídají 3 - 4 stanoviště.	Pracuje na zadaných úkolech. (Postupuje podle pracovního listu.) Zaznamenává a zpracovává výsledky měření.	Může plnit roli pomocníka některé ze skupin.	Pomáhá studentům řešit jejich otázky a nastalé problémy. Var. B: Dohlíží na střídání skupin. Podle rychlosti práce studentů rozhodne, kolik stanovišť projdou.
20 min	Prezentace studentů Studenti prezentují své výsledky. Prezentace probíhají u jednotlivých stanovišť tak, aby studenti mohli popisovat aparaturu a jednotlivé experimenty na konkrétních věcech. Varianta A Studenti prezentují výsledky výhradně z jednoho přiděleného stanoviště. Varianta B Studenti prezentují výsledky ze stanoviště, na kterém skončili.	Prezentuje svoje výsledky. Odpovídá na otázky. Vyslechne prezentace spolužáků. Klade spolužákům otázky.	Vyslechne prezentace studentů. Může klást otázky studentům.	Moderuje prezentace studentů. Klade otázky.
5 min	Závěr Shrnutí a hodnocení práce studentů. Rozloučení.	Zkontroluje, že v laboratoři nic nezapomněl.	Odvádí studenty.	Poděkuje studentům za návštěvu a zhodnotí jejich práci.

- Při závěrečné prezentaci je pro studenty snazší představit svoje výsledky spolužákům.
- Pro tvůrce aktivit je tato varianta méně náročná na přípravu.

Oproti původnímu plánu zůstal zatím nedořešen webový systém dostupnosti didaktických materiálů (tím je myšleno především pracovních listů). Zatím nebyly dostupné z webových stránek IFL, ale byly učitelům rozesílány vždy minimálně týden předem, aby si je mohli projít a také předat studentům, kteří tak měli šanci se na aktivity, které je v IFL čekaly, předem připravit.

5.4 Školní rok 2014/2015

Ve školním roce 2014/2015 byla úspěšně odzkoušena stanoviště s tématickými celky, v nichž byly experimenty rozděleny do časově méně náročných celků a některé skupiny studentů tak zvládly projít všechna stanoviště a vyzkoušet si všechny zařazené experimenty.

I v tomto školním roce došlo k rozšíření nabídky témat návštěv v IFL. Mezi již v minulosti vyzkoušená témata přibýlo téma s označením *Magnetické pole solenoidu*. Časový harmonogram této nové sady pokusů (tabulka 5.17) se v porovnání s dříve vzniklými sadami liší. Mohli bychom jej označit za variantu C. Studenti jsou při lekci v IFL opět rozděleni do čtyř skupin o velikosti maximálně čtyř studentů. Hlavní praktická část je však nyní členěna na tři oddělené části. V první pracují všichni studenti na stejných úkolech. Úkoly v této části jsou jednodušší, mají formu spíše kvalitativního pozorování. V tomto konkrétním tématu studenti zkoumali, jaké faktory ovlivňují magnetické pole cívky. Po této první části následuje shrnutí dosažených výsledků, kdy se studenti shromáždí na jednom místě v laboratoři a porovnají svoje výsledky. V druhé části skupiny pracují na odlišných úkolech. Detailně zkoumají jeden z jevů, který v první části pozorovali pouze kvalitativně. O svých výsledcích následně jednotlivé skupiny informují spolužáky při krátkých prezentacích, které se odehrávají u příslušných aparatur. Třetí část přináší každé skupině opět jiný úkol, který je zaměřen spíše do praxe, souvisí s významným historickým experimentem, případně v něm lze proměřit důležitou fyzikální konstantu. Věřím, že toto schéma (variantu C), bude možné využít v této případně pozměněné formě i v některém v budoucnu vytvořeném programu v IFL. Kromě změny v časovém harmonogramu byla u tohoto tematického celku využita i jiná forma zadání práce studentům, než byla doposud v IFL běžná. Namísto papírového zadání jsem vytvořil webové stránky,

Tabulka 5.17: Časový plán jedné lekce v IFL - varianta C.

Čas	Co se děje v laboratoři	Aktivita zainteresovaných osob		
		Student	Učitel	Pracovník IFL
5 min	Úvod Přivítání studentů; seznámení s instruktory, programem, prostorem laboratoře a časovým plánem.	Poslouchá. Klade otázky.	Poslouchá. Klade otázky.	Hovoří ke studentům. Zodpovídá otázky.
	Společná praktická část - přehledová Studenti pracují ve skupinkách na stejných jednoduchých úkolech, které jsou především kvalitativního charakteru.	1. Pracuje na zadaných úkolech. (Postupuje podle pracovního listu.) Zaznamenává a zpracovává výsledky měření.	1. Může plnit roli pomocníka některé ze skupin.	1. Pomáhá studentům řešit jejich otázky a nastalé problémy.
	Kontrola výsledků Skupiny si vzájemně kontrolují svoje výsledky. Při prezentaci výsledků se jednotlivé skupinky střídají.			
	Individuální praktická část - měřicí Studenti pracují ve skupinkách. Každá skupina pracuje na jednom avšak jiném úkolu. Úkol typicky vyžaduje proměření jisté závislosti, její vynesení do grafu a interpretaci.	2. Prezentuje svoje výsledky. Odpovídá na otázky. Vyslechne prezentace spolužáků. Klade spolužákům otázky.	2. Vyslechne prezentace studentů. Může klást otázky studentům.	2. Moderuje prezentace studentů. Klade otázky.
	Prezentace výsledků Skupiny prezentují svoje výsledky na svých stanovištích.			3. Hlídá časový plán
	Individuální praktická část - ilustrační Studenti pracují ve skupinkách. Každá skupina má jiný úkol. Úkol souvisí s použitím dříve zkoumaného jevu v praxi, nebo při významném historickém experimentu.			
110 min	Prezentace výsledků Skupiny prezentují svoje výsledky na svých stanovištích.			
	Závěr Shrnutí a hodnocení práce studentů. Rozloučení.	Zkontroluje, že v laboratoři nic nezapomněl.	Odvádí studenty.	Poděkuje studentům za návštěvu a zhodnotí jejich práci.
5 min				

kteřé obsahují krátkou teorii k jednotlivým pokusům stejně jako návody na jejich provedení doplněné obrázky. Mimo to jsou přidány i předpřipravené tabulky pro záznam měřených údajů. K tabulkám jsou vytvořeny i grafy, takže zapisované údaje jsou automaticky vynášeny. V IFL tak studenti dostanou pouze záznamový arch, do kterého zapisují a zakreslují svá pozorování a jejich interpretaci. Každá skupinka obdržela jeden záznamový arch pro všechny experimenty. Studenti si tak mohli snadno poznamenat i výsledky svých spolužáků v pokusech, které sami neprováděli. To vedlo dle našich pozorování k lepší koncentraci některých studentů na výklad jejich spolužáků.

Tabulka 5.18: Témata kurzů v IFL a počet jejich opakování ve školním roce 2014/2015.

Téma	Počet opakování
Termodynamika	12
Rotační pohyb	12
Elektrostatika	6
Mechanika tuhého tělesa, mechanické kmitání	6
Magnetické pole solenoidu	3

Množství opakování kurzů ve školním roce 2014/2015 shrnuje tabulka 5.18. Každý z kurzů vedla dvojice lektorů. V tomto školním roce si vedení kurzů mezi sebe rovnoměrně rozdělili doktorandi KDF MFF UK v Praze RNDr. Zdeněk Šabatka, Mgr. Petr Kácovský a Mgr. Marie Snětinová, při několika akcích byl nápomocen student magisterského studia Bc. Tomáš Kopřiva. IFL nadále sloužila i při přípravě studentů učitelství fyziky, ti ji navštěvovali především v rámci seminářů Praktikum školních pokusů I. a Praktikum školních pokusů III. IFL se opět zapojila do akcí MFF UK určených široké veřejnosti (Den otevřených dveří, Jeden den s fyzikou).

5.5 Školní rok 2015/2016

V prvním pololetí školního roku 2015/2016 bylo IFL nabízeno stejných pět témat jako v uplynulém roce, tj. Elektrostatika, Rotační pohyb, Mechanika tuhého tělesa a mechanické kmitání, Termodynamika, Magnetické pole solenoidu. V lednu došlo ke změně v tématu Termodynamika, který byl kolegou Petrem Kácovským upraven a rozdělen do dvou částí Termodynamika 1 a Termodynamika 2, z nichž první se zaměřuje především na fyzikální měření a vyhodnocování dat, druhá se skládá především z kvalitativních experimentů. Termíny byly vypsány na vybrané pondělky

a středy. Od září do června bylo nabídnuto celkem 27 návštěvních dnů. Na každý z nich se mohly přihlásit dvě skupiny po maximálně 16 studentech v časech 8:30 - 10:30 a 11:00 - 13:00. Změnou oproti předchozímu přihlašování bylo vypsání pouze nabízených termínů. Učitelé si tedy mohli vybrat, ve kterém termínu chtějí navštívit daný tematický program. Ty již tedy nebyly vypisovány na konkrétní datum. Z hlediska organizace měla tato možnost jedno omezení. Pokud některý z učitelů obsadil jeden z termínů v daném dnu jím vybraným tematickým programem, byl tento program automaticky přiřazen i druhému času ve stejném dni. Pokud bychom toto opatření nezavedli, bylo by velmi náročné (při současných dispozicích IFL téměř nemožné) během přestávky vyměnit pomůcky v celé laboratoři. Doufali jsme, že tato možnost nám pomůže snadněji uspokojit požadavky učitelů. Tento předpoklad se potvrdil a učitelé tuto změnu oceňovali kladně. Náš tým tří doktorandů participujících na programu IFL pro tento rok rozšířil další doktorand Mgr. Matěj Ryston.

V uplynulém školním roce se konal první běh semináře *Praktické cvičení ve výuce fyziky I*. Seminář dal studentům možnost seznámit se s vybranými úlohami, které řeší v rámci praktických cvičení v IFL studenti středních škol. Pozornost byla při tom kladena především na didaktické cíle jednotlivých úloh a způsob, jakým se jich dané aktivity snaží dosáhnout, tj. logickou strukturu aktivity, stejně jako design pracovních listů, případně zadání. Studenti se tak mohli seznámit s možným způsobem rozboru aktivit. Jedním z cílů semináře bylo, aby byli studenti schopni na základě nabytých znalostí vytvořit dle daných kritérií (především konkrétní didaktický cíl) praktickou aktivitu včetně pracovního listu a to tak, aby byla použitelná v rámci výuky na střední škole. I tento cíl semináře se podařilo naplnit a aktivity zaměřující se na vrhy (pohyby těles v homogenním tíhovém poli Země) připravené studenty rozšíří nabídku IFL v příštím školním roce.

Předpokládám, že tým lidí pomáhajících s programem by se měl dále rozšiřovat. Do běhu laboratoře se budeme snažit více zapojovat i studenty bakalářského a magisterského studia a to například právě formou volitelných seminářů *Praktické cvičení ve výuce fyziky I*. a *II*. Stejně tak počítám s tím, že budeme připravovat nové aktivity, případně na základě získaných zkušeností modifikovat stávající. V první fázi je v plánu rozšíření nabídky témat o experimenty z oblasti částicové fyziky a optiky.

6. Technická podpora IFL

6.1 Webové stránky projektu

Každý projekt, který chce být v dnešní době úspěšný, se musí prezentovat na internetu a IFL není výjimkou. Tato nutnost se ukázala i v dotazníkovém šetření mezi učiteli před startem projektu, kdy drtivá většina dotazovaných učitelů očekávala, že budou k dispozici internetové stránky IFL, na kterých naleznou množství informací - od seznamu nabízených experimentů, přes materiály k jednotlivým experimentům až po fotografie z akcí. (Výsledky šetření shrnuje část 5.1.)

Z tohoto důvodu jsem vytvořil webové stránky [59], které mají dané požadavky splňovat.



Obrázek 6.1: Úvodní stránka webových stránek IFL.

Webové stránky jsou děleny do následujících sekcí:

- *O projektu.* Zde jsou čtenáři informováni obecně o projektu IFL, jeho cílech a důvodu vzniku.
- *Aktuality.* Na této úvodní stránce jsou zveřejňovány nejnovější události spojené s IFL.
- *Fotogalerie.* V této části jsou umístěny snímky z vybraných akcí.

- *Odkazy.* Tato část obsahuje odkazy na webové stránky realizátorů IFL a na stránky dalších projektů zabývajících se popularizací fyziky.
- *Kde nás najdete.* Tato část obsahuje popis umístění IFL a možnosti dopravy do ní.
- *Rezervace.* Sekce obsahující kalendář akcí v IFL a vypsaných termínů pro laboratorní práce v IFL.
- *Experimenty.* Tato sekce obsahuje základní popis témat a experimentů, která jsou školám nabízena.
- *Pro učitele.*

Technické provedení webových stránek

Obsah*:

```
<h1>Kapalina v rotující nádobě</h1>

<p>Časová náročnost: cca 25 min.</p>

<h3>Stručný popis</h3>

<p>Studenti prozkoumají tvar hladiny v rotující nádobě a následně odvodí rovnici, která ji popisuje. Vše probíhá formou navrhování hypotéz, diskuze členů týmu, následném experimentálním ověření a závěrečném zhodnocení. V této úloze si studenti vyzkouší práci s digitálním fotoaparátem coby měřicím přístrojem a analýzu jejich fotografie za pomoci počítačového programu Logger Pro.</p>

<h3>Komentář</h3>

<p>Úloha součástí sady experimentálního celku "Mechanika - rotační pohyb", ve kterém studenti během návštěvy IFL projdou všechny stanoviště a tudíž si vyzkouší i zbývající úlohy:</p>

<ul>
<li class="inside"><cms_selflink page="dostrediva-sila"></li>
<li class="inside"><cms_selflink page="kulicky"></li>
<li class="inside"><cms_selflink page="lodicka-na-rotujici-hladine"></li>
</ul>

<h3>Související obrázky</h3>

{cms_module module='album' albums='21'}
```

Obrázek 6.2: Úprava obsahu stránek se děje v okně. K jeho formátování se používá jak běžných html tak speciálních cms tagů specifických pro tento administrační systém. V tomto případě jsou do textu vloženy tři odkazy na stránky, které jsou součástí spravovaného webu, a současně je přidáno jedno fotoalbum.

Webové stránky využívají open-source redakční systém CMS Made Simple. Tento systém je zdarma k dispozici na webových stránkách [60]. Jeho velkou předností je snadná úprava obsahu stránek několika uživateli, stejně jako tvorba a úprava alb fotografií. Design byl vytvořen pomocí tzv. kaskádových stylů (css) speciálně pro web IFL a je tedy originální. Na tvorbě jeho první verze se mnou spolupracovala RNDr. Martina Kekule, Ph.D., za což jí patří nemalý dík. Je rovněž autorkou loga

IFL, které je zobrazeno na webových stránkách (viz obrázek 6.1). Administrace se provádí přes webové rozhraní. Po přihlášení se správce stránek dostává do logicky uspořádaného prostředí, kde jsou nejpodstatnější části - *Stránky* a *Fotoalba*. Stránky se dají jednoduše upravovat (obrázek 6.2). Jejich formátování probíhá pomocí klasických html tagů, stejně tak jednoduše se do nich dají pomocí speciálních tagů vkládat odkazy na stránky webu a na vytvořená alba, kterým bylo při jejich tvorbě v systému přiděleno pořadové číslo.

6.2 Sbírka fyzikálních pokusů

V rámci projektu *Experimenty pro seminář „Praktikum školních pokusů II“*, který byl v roce 2011 podpořen grantem FRVŠ 1120/2011/G6, a jehož jsem byl (společně s kolegy doc. Leošem Dvořákem, CSc. a Mgr. Věrou Koudelkovou) řešitelem, vznikl web *Sbírka fyzikálních pokusů* [61], jehož cílem je shromažďovat zajímavé experimenty¹, které by mohly učitelé využít na základních a středních školách. Cílovou skupinou tak jsou přímo učitelé. Základní principy fungování Sbírky fyzikálních pokusů byly popsány ve statích [63], [64] uveřejněných v elektronických sbornících konferencí GIREP-EPEC 2011 a WCPE 2012. Osobně jsem do sbírky přispěl 26 příspěvky.

Možností sbírky je členit experimenty do tematických celků a i menších částí. Experimenty je pak možné třídit i podle dalších kategorií:

Úroveň pokusu. Jedná se o doporučení, na jaké úrovni experiment použít. Možnosti jsou: Pokus vhodný pro žáky základní školy; Pokus vhodný pro studenty na střední škole; Obtížnější středoškolský či velmi jednoduchý vysokoškolský pokus; Vysokoškolský pokus.

Typ pokusu. Ke každému experimentu můžeme přiřadit minimálně jednu z následujících charakteristik: Kvalitativní pokus; Kvantitativní pokus; Ověřující pokus; Heuristický (objevný) pokus; Pokus demonstrující jev z praxe.

Již se tedy nejedná o disjunktní vlastnosti a u konkrétní pokus může spadat do více skupin.

Pro každou z výše uvedených kategorií byla vytvořena ikonka, takže na webové stránce (viz obrázek 6.3) příslušící k danému experimentu můžeme pozorovat, jaké

¹Sbírka fyzikálních úloh vznikla jakožto odnož již dobře fungující *Sbírky řešených úloh z fyziky* [6]. Její popis nalezneme například ve statí [62] hlavní autorky a iniciátorky tohoto projektu RNDr. Zdeňky Koupilové, Ph.D.

vlastnosti daný experiment splňuje. Daný systém umožňuje celý návod velice jednoduše a přehledně strukturovat (obrázky 6.3, 6.4). Návodů mají většinou podobnou strukturu:

Zadání pokusu. Většinou je jen textové. V některých případech je doplněno obrázkem.

Pomůcky.

Příprava pokusu. Obsahuje detailní textový návod, jak sestavit aparaturu. Jedná-li se o měření využívající nějaký přístroj nebo počítač, obsahuje rovněž popis jeho nastavení. Tato část je doplněna videem.

Provedení pokusu. Obsahuje detailní textový návod (viz obrázek 6.4) k provedení včetně didaktických poznámek. Součástí je video.

Rozbor. Obsahuje detailní vysvětlení pozorovaného jevu.

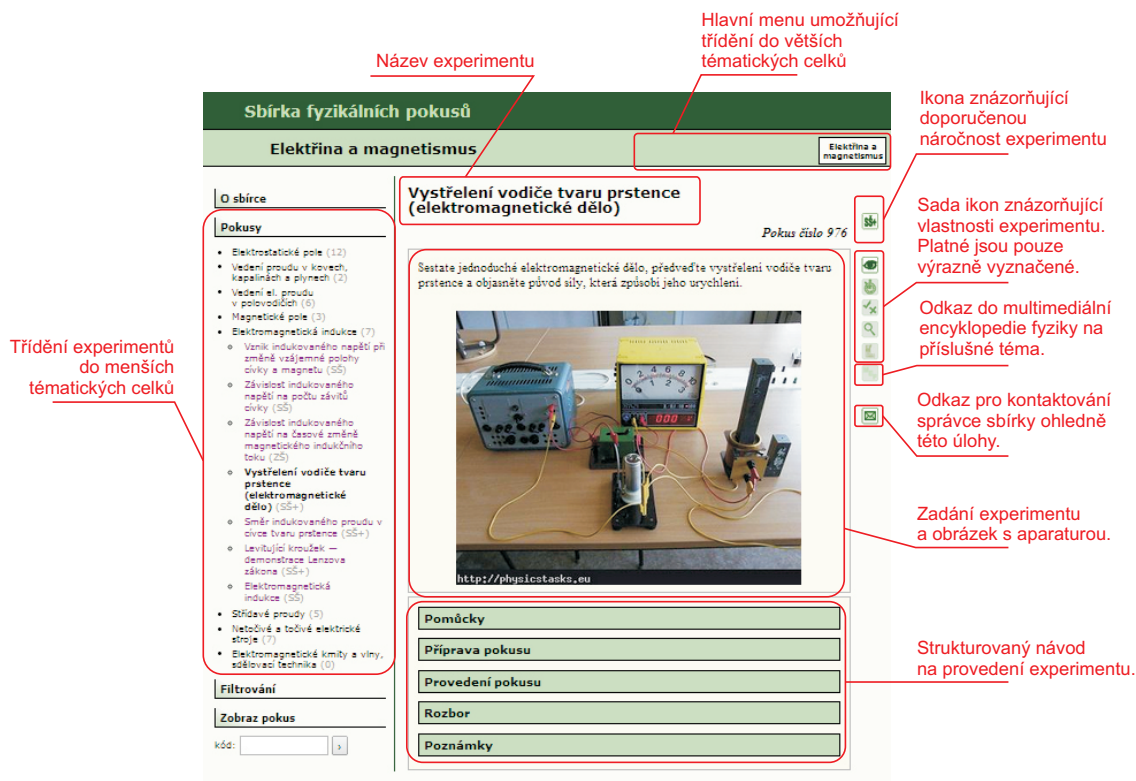
Poznámky. Část, ve které jsou uvedeny tipy, jak experiment začlenit do hodiny, k jakým jiným tématům se váže, apod.

Každý ze zmíněných bodů je uveden nadpisem v rámečku. Kliknutím na tento rámeček je možné danou část střídavě skrýt respektive zobrazit. Učitel si tak může zobrazit tu část, kterou právě potřebuje.

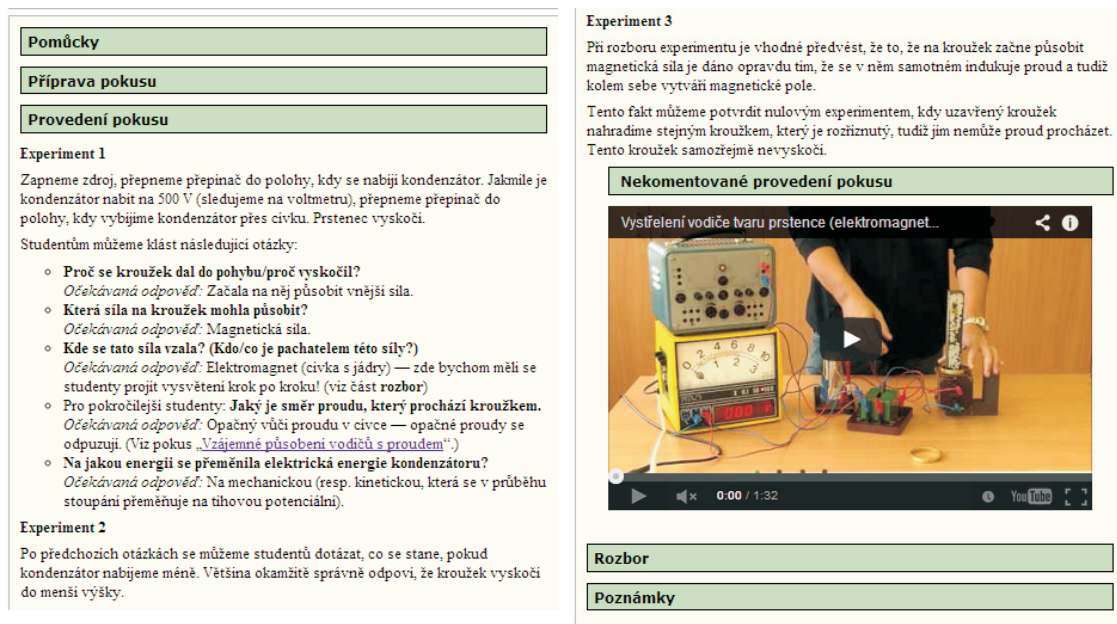
Další výhodou, kterou v porovnání s papírovými příručkami webové stránky nabízí, je možnost vkládat videa. Jelikož se jedná o materiály určené především učitelům, jsou vkládána dvě videa: první, na kterém je experiment připraven; a druhé, na kterém je provedení experimentu. Videa jsou vkládána na www.youtube.com a na webovou stránku konkrétního experimentu je pak vloženo okno, ve kterém je možné video přehrát (obrázek 6.4).

Od ledna 2015 se dalšímu vývoji sbírky věnuje kolega Mgr. Petr Kácovský. Především pod jeho vedením nyní získává sbírka jinou podobu - byla pozměněna struktura jednotlivých námětů na pokusy. Novou strukturu představil v Praze na konferenci Veletrh nápadů učitelů fyziky 20. V rámci bakalářských a diplomových prací řešených na KDF MFF UK v Praze přibývají nové experimenty a původní experimenty jsou postupně převáděny do nové podoby. To je rovněž důvod, proč se může aktuální podoba výše představené sbírky lišit.

Do budoucna předpokládám, že ty praktické aktivity vznikající v IFL, u nichž lze předpokládat, že materiálové vybavení potřebné k jejich provedení je dostupné na



Obrázek 6.3: Ukázka webové stránky popisující experiment. Celková struktura.



Obrázek 6.4: Ukázka webové stránky popisující experiment. Provedení experimentu.

běžné nebo i lépe vybavené střední škole, budou nabídnuty k dispozici učitelům i formou příspěvku právě ve Sbírce fyzikálních pokusů. Domnívám se totiž, že obecným cílem IFL by mělo být vyvíjet experimenty, metodiku a podpůrné materiály nejen pro své fungování, ale dávat je k dispozici široké učitelské veřejnosti, protože ne všichni učitelé (především mimopražští) mají možnost využít pomoc, kterou jim Matematicko-fyzikální fakulta UK v Praze prostřednictvím IFL nabízí.

Část III

Pokusy a teorie

7. Tematické programy (sady pokusů)

Podílel jsem se na přípravě celkem čtyř z pěti tematických programů, které jsou v IFL pravidelně nasazovány. Jedná se konkrétně o témata:

- Elektrostatika
- Rotující soustavy
- Mechanické kmitání a mechanika tuhého tělesa
- Magnetické pole solenoidu

Pátému pravidelně nasazovanému tématu Termodynamika se věnuje kolega Mgr. Petr Kácovský.

Vývoj tematických programů

Tematické programy vznikaly postupně. Výběr témat zpracovaných v této práci byl ovlivněn jednak požadavky učitelů (nejžádanějším tématem byla Elektřina a magnetismus), jednak dostupností pomůcek, studiem literatury a současně zkušenostmi autora této práce. Do jednotlivých tematických celků byly vybírány experimenty tak, aby tvořily je některý fyzikální jev spojoval a aby byly pro studenty případně i učitele něčím zajímavé ať už tím, že jim pomohou se zbavováním se miskoncepcí (např. odstředivá síla v rámci tématu Rotační pohyb), budou v nich ověřovat znalosti získané ve škole (Coulombův zákon v rámci tématu Elektrostatika), vyzkouší si různé metody zpracování dat (např. kmitání tělesa na pružině v rámci tématu Mechanické kmitání a mechanika tuhého tělesa), budou pro ně něčím nevšední (měření měrného náboje elektronu v rámci tématu Magnetické pole solenoidu), atd. V obecných rysech probíhal vývoj tak, že po přípravě první verze prošly aktivity vnitřní recenzí mezi členy katedry, byly testovány na studentech gymnázia Nový Porg a po této první fázi upraveny dle připomínek členů katedry a na základě zkušeností autora z testování. Následně byly zařazeny do nabídky IFL. Po každém uplynulém pololetí proběhlo jejich zpětné zhodnocení a připomínky vzešlé ze zkušeností (pracovníků IFL a autora) z vlastní práce se studenty byly zapracovány a aktivity byly dle nich upraveny. Tento způsob neustálé autoevaluace aktivit probíhajících v IFL považuji za velmi důležitý a měl by probíhat i nadále.

7.1 Elektrostatika

Materiály pro experimenty zařazené do tématu Elektrostatika vznikaly v rámci Operačního programu Praha - Adaptabilita (OPPA) a jeho projektu „Přírodní vědy a matematika na středních školách v Praze: aktivně, aktuálně a s aplikacemi“ a byly uveřejněny v publikaci [58].

Tento tematický celek obsahuje čtyři samostatné sady experimentů:

1. Elektrostatika s brčky a plastovými tyčemi
2. Platí Coulombův zákon? Pole nabité koule
3. Deskový kondenzátor a jak v něm měřit pole
4. Náboj, kapacita, napětí a proud

7.1.1 Souvislost s gymnaziálním kurikulem

Vybrané experimenty dle mého názoru dobře doplňují minimální znalosti a dovednosti, jež by měl gymnazista v rámci elektrostatiky ovládat. Studenti si při těchto experimentech připomenou a procvičí znalosti získané ve škole pravděpodobně především teoreticky.

Za minimum získaných znalostí a dovedností lze pokládat to, co stanovuje *Rámcový vzdělávací program pro gymnázia* [11] a *Katalog požadavků k maturitě z fyziky* [65] - dokument z doby, kdy byla možnost tuto zkoušku skládat jakožto součást společné části maturitní zkoušky. Následující přehled¹ shrnuje nároky z oblasti elektrostatiky, které na studenty zmíněné dokumenty [11], [65] kladou. V závorce jsou uvedena čísla sad experimentů, ve kterých je daná dovednost nejvíce procvičována.

- Žák porovná účinky elektrického pole na vodič a izolant. (1, 2)
- Žák dovede vypočítat z Coulombova zákona velikost elektrické síly, kterou jeden náboj působí na druhý, a určit její směr. (2)
- Žák dovede vypočítat velikost intenzity elektrického pole bodového náboje v daném bodě a velikost intenzity homogenního elektrického pole mezi rovnoběžnými deskami, mezi nimiž je stálé napětí. (2, 3)
- Žák dovede vypočítat práci vykonanou elektrickou silou při přenesení bodového náboje a určit v jednoduchých případech elektrický potenciál v daném bodě a elektrické napětí mezi dvěma body. (4)

¹I přesto, že pro člověka na střední škole je spíše běžnější používat označení student, držím se v tomto výčtu slova žák. Přehled nároků je doslovnou citací ze zmíněných dokumentů [11] a [65].

- Žák dovede vypočítat kapacitu osamoceného kulového vodiče a kapacitu deskového kondenzátoru. (2, 3, 4)
- Žák dovede vypočítat celkovou kapacitu kondenzátorů spojených za sebou a vedle sebe. (3, 4)
- Žák dovede znázornit elektrické pole siločarovým modelem a ekvipotenciálními plochami. (2, 3)

7.1.2 Bližší popis sady pokusů

Jak již bylo řečeno, zařazené experimenty jsou rozděleny do čtyř stanovišť. Jednotlivá stanoviště jsou časově poměrně náročná. Z tohoto důvodu je program zpracován podle časového harmonogramu varianty A (viz tabulka 5.16), při kterém zůstávají studenti na přiděleném stanovišti po celou dobu experimentální části cvičení.

Autorem experimentálních úloh na stanovištích 1 a 4 je doc. Leoš Dvořák. Experimenty jsou detailně popsány ve zmíněné publikaci [58]. Pracovní listy vytvořené doc. Dvořákem zůstaly pro účely jejich použití v IFL nezměněny. Jelikož se však ukázalo, že první stanoviště *Elektrostatika s brčky a plastovými tyčemi* je jako jediné časově méně náročné, přidal jsem k němu rozšiřující úkol, ve kterém studenti sami vyrábí detektor elektrického náboje na základě vytvořeného modelu. Po tomto rozšíření jsou již všechna stanoviště časově srovnatelná a studenti dokončují úkoly přibližně ve stejnou dobu.

Autorem úloh na stanovištích 2 a 3 jsem já a proto se jim v této práci věnuji detailněji.

Dále jsou okomentovány jednotlivé aktivity a jejich konkrétní cíle. Nicméně obecně lze říci, že hlavní cíle aktivit zahrnutých do tématu Elektrostatika spadají podle části 1.3 do kategorií I. *Zvýšit znalosti a pochopení vědeckých konceptů* a II. *Zlepšit praktické vědecké dovednosti a schopnosti řešit úlohy* (viz výčet cílů na str. 12).

1. Elektrostatika s brčky a plastovými tyčemi

Jak již název napovídá, týkají se veškeré zde prováděné experimenty nabíjení plastových brček a tyčí. Jak doc. Dvořák uvádí ve zmíněné publikaci [58]: *cílem vybraných aktivit je, aby žáci prakticky poznali („objevili“), vyzkoušeli si a uměli kvalitativně popsat a vysvětlit:*

- *Silové působení elektrických nábojů (odpuzování, přitahování, přitahování k nevodivým a vodivým předmětům).*
- *Nabíjení těles (třením i elektrostatickou indukcí).*
- *Jednoduché způsoby jak indikovat přítomnost elektrického pole.*
- *Rozlišení polarity elektrických nábojů různých předmětů.*

Na vyšší úrovni je cílem, aby žáci získali kvantitativní představu o velikosti nábojů a intenzity elektrického pole v okolí nabitých předmětů a uměli provést jednoduchá kvantitativní měření, odhady, případně přibližné výpočty, které lze použít pro určení velikosti náboje zelektrovaných brček, tyčů apod. Jeden z experimentů (s indikátorem s bipolárními tranzistory) zároveň slouží k diskusi o souvislosti pohybu nábojů s elektrickým proudem.

2. Platí Coulombův zákon? Pole nabitě koule

Cílem aktivit zařazených do této experimentální sady je, aby studenti dokázali popsat:

- Silové působení mezi nabitými tělesy.
- Nabíjení těles pomocí elektrostatické indukce.
- Elektrické pole v okolí kulového nabitěho tělesa.

Z praktických dovedností by si měli osvojit a procvičit práci podle daného návodu, měření délky, hmotnosti, elektrického napětí a zpracování naměřených údajů v počítači. Velmi zajímavé je pro studenty být i samotné přístrojové vybavení neboť obsahuje *měřič elektrického pole* - přístroj, který jim je s největší pravděpodobností z běžných hodin fyziky neznámý.

Původně byly do tohoto stanoviště zařazeny experimenty

- Ověření Coulombova zákona na elektronických vahách (str. 93 této práce),
- Elektrická intenzita v okolí nabitěho kulového vodiče (příloha B.2, str. 201),
- Elektrický potenciál v okolí nabitěho kulového vodiče (příloha B.3, str. 210),

podrobně popsané v kapitole 8 *Pokusy pro IFL* a v příloze B. Pracovní list k tomuto tématu je v příloze C na straně 258. Jelikož se ukázalo, že toto stanoviště je poměrně časově náročné, tak v současné době studentům standardně zadáváme

Tabulka 7.1: Očekávané činnosti studenta při jednotlivých aktivitách na stanovišti *Platí Coulombův zákon? Pole nabitě koule*

Úloha	Očekávané činnosti studenta během jednotlivých aktivit	Důležité pojmy	Rovnice
Ověření Coulombova zákona na elektronických vahách	<ul style="list-style-type: none"> Pomocí digitální váhy změří velikost elektrostatické síly. Rozliší sílu přitažlivou a odpudivou. Nabije těleso pomocí elektrostatické indukce. Zkoumá závislost elektrostatické síly na vzdálenosti těles a na velikosti náboje. Pomocí programu MS Excel vytvoří graf závislosti síly na vzdálenosti a proloží jej mocninou závislosti. Rovnici prokládané křivky porovná s teorií. 	<ul style="list-style-type: none"> Elektrický náboj Elektrostatická síla Elektrostatická indukce Coulombův zákon Tíha 	$F_e = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$ $k = \frac{1}{4\pi\epsilon}$ $F_g = mg$
Elektrostatická intenzita v okolí nabitě kulového vodiče	<ul style="list-style-type: none"> Sestaví aparaturu podle nákresu. Používá elektrometr k měření intenzity elektrického pole, přepočítá měřenou hodnotu podle zvoleného rozsahu přístroje. Rozumí závislosti mezi velikostí elektrického náboje na vodiči a elektrickým potenciálem vodiče. Nabije kulový vodič pomocí vysokonapěťového zdroje. Proměří závislost elektrické intenzity v okolí koule v závislosti na vzdálenosti od koule a na náboji koule. Měření provede pro dvě různé koule. Naměřená data zanesou pomocí MS Excel do grafu a vynesnými body proloží mocninné závislosti. Rovnice proložených křivek porovná s teorií. 	<ul style="list-style-type: none"> Elektrický náboj Elektrická intenzita Kapacita vodiče Elektrostatická indukce Elektrický potenciál Elektrické napětí 	$E = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{ Q }{r^2}$ $E = \frac{2R}{r^2} \cdot \varphi$
Elektrostatický potenciál v okolí nabitě kulového vodiče	<ul style="list-style-type: none"> Sestaví aparaturu podle nákresu. Používá elektrometr k měření potenciálu elektrického pole, přepočítá měřenou hodnotu podle zvoleného rozsahu přístroje. Rozumí závislosti mezi velikostí elektrického náboje na vodiči a elektrickým potenciálem vodiče. Nabije kulový vodič pomocí vysokonapěťového zdroje. Proměří závislost elektrického potenciálu v okolí koule v závislosti na vzdálenosti od koule a na náboji koule. Měření provede pro dvě různé koule. Naměřená data zanesou pomocí MS Excel do grafu a vynesnými body proloží mocninné závislosti. Rovnice proložených křivek porovná s teorií. 	<ul style="list-style-type: none"> Elektrický náboj Elektrický potenciál Elektrické napětí 	$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{ Q }{r}$ $Q = 4\pi\epsilon R \cdot U$ $\varphi = \frac{R}{r} \cdot U$

již pouze první dvě části, věnující se *Ověření Coulombova zákona na elektronických vahách* a *Elektrické intenzitě v okolí nabitě kulového vodiče*. Třetí část je ponechána do zálohy pouze pro výjimečně rychlé skupinky studentů.

Do tohoto tematického celku spadá rovněž experiment popsany na straně 196 *Ověření Coulombova zákona pomocí Faradayovy klece*. Tento experiment není náročný na materiálové vybavení, a je tak vhodný jako další rozšíření tohoto tématu například v rámci fyzikálního semináře v některém z vyšších ročníků střední školy.

Přehled očekávaných činností studentů v rámci této experimentální sady společně s důležitými pojmy a rovnicemi, které si studenti procvičí, udává tabulka 7.1.

3. Deskový kondenzátor a jak v něm měřit pole

Cílem vybraných aktivit je, aby studenti:

- Získali představu o konstrukci jednoduchého deskového kondenzátoru a parametrech, které ovlivňují jeho kapacitu.
- Dokázali změřit kapacitu kondenzátoru pomocí vhodného přístroje.
- Získali kvantitativní představu o velikosti permitivity běžných látek (papír, sklo, ...) a dokázali ji přibližně změřit.
- Dokázali popsat homogenní elektrické pole a uvést parametry, které ovlivňují jeho elektrickou intenzitu případně elektrický potenciál v daném místě.

Z praktických dovedností by si měli osvojit a procvičit práci podle daného návodu, měření délky (pravítko, posuvné měřítko), elektrického napětí, kapacity a zpracování naměřených údajů v počítači. Stejně jako v předcházející sadě experimentů i zde se studenti seznámí s pro ně netradičním přístrojem - *měřič elektrického pole*.

Původně byly do tohoto tematického celku zařazeny experimenty

- Kapacita deskového kondenzátoru (str. 215),
- Elektrická intenzita homogenního pole (str. 219),
- Elektrický potenciál homogenního pole (str. 223)

popsané v příloze B. Pracovní list k těmto aktivitám je v příloze C na straně 270. Jelikož se ukázalo, že toto stanoviště je poměrně časově náročné, tak v současné době studentům standardně zadáváme již pouze první dvě části. Třetí část je podobně jako v případě druhého stanoviště ponechána do zálohy pouze pro výjimečně rychlé skupinky studentů.

Přehled očekávaných činností studentů v rámci této experimentální sady společně s důležitými pojmy a rovnicemi, které si studenti procvičí, udává tabulka 7.2.

4. Náboje, kapacita, napětí a proud

Doc. Dvořák, autor aktivit zařazených do této části, uvádí [58], že jejich cílem je, „aby se žáci prakticky seznámili s pojmem kapacita a „objevili“, případně si prakticky kvalitativně i kvantitativně ověřili souvislost náboje, napětí a kapacity. Dále by měli získat alespoň přibližnou představu o velikostech nábojů a napětí, s nimiž se mohou setkat kolem sebe – tedy na něž se předměty kolem nás mohou nabít díky tření.“

Tabulka 7.2: Očekávané činnosti studenta při jednotlivých aktivitách na stanovišti *Deskový kondenzátor a jak v něm měřit pole*

Úloha	Očekávané činnosti studenta během jednotlivých aktivit	Důležité pojmy	Rovnice
Kapacita deskového kondenzátoru	<ul style="list-style-type: none"> Vytvoří model deskového kondenzátoru. K měření kapacity používá multimetr. Proměří závislost kapacity modelového kondenzátoru v závislosti na počtu listů mezi fóliemi a na ploše jedné z desek. Z rozměrů modelového kondenzátoru a jeho kapacity vypočítá permitivitu materiálu mezi fóliemi. Tímto způsobem určí relativní permitivitu papíru a skla a porovná je s tabulkovými hodnotami. 	<ul style="list-style-type: none"> Kapacita Permitivita Relativní permitivita 	$C = \varepsilon \frac{S}{d}$ $\varepsilon = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0$
Elektrická intenzita homogenního pole	<ul style="list-style-type: none"> Podle schématu sestaví aparaturu. Používá elektrometr k měření intenzity elektrického pole, přepočítá měřenou hodnotu podle zvoleného rozsahu přístroje. Nabije deskový kondenzátor pomocí stejnosměrného zdroje. Proměří závislost elektrické intenzity mezi dvěma deskami v závislosti na napětí na deskách a na vzdálenosti desek. Naměřená data vynese pomocí MS Excel do grafu a proloží jimi křivky předpokládaného typu. Rovnice proložených křivek porovná s teorií. 	<ul style="list-style-type: none"> Elektrická intenzita Elektrické napětí Homogenní pole Kondenzátor 	$E = \frac{U}{d}$
Elektrický potenciál homogenního pole	<ul style="list-style-type: none"> Podle schématu sestaví aparaturu. Používá elektrometr k měření elektrického potenciálu, přepočítá měřenou hodnotu podle zvoleného rozsahu přístroje. Nabije deskový kondenzátor pomocí stejnosměrného zdroje. Proměří průběh elektrického potenciálu mezi dvěma deskami s daným napětí, když je jedna z desek uzemněná. Naměřená data vynese pomocí MS Excel do grafu a proloží jimi přímkou. Rovnici přímky porovná s teorií. 	<ul style="list-style-type: none"> Elektrický potenciál a napětí. Kondenzátor. Homogenní pole. Uzemnění 	$\varphi = \frac{U}{d} x$

7.2 Rotující soustavy

Tento tematický celek obsahuje čtyři sady aktivit

1. Dostředivá síla
(detailní popis experimentu na str. 226, pracovní list na str. 277.),
2. Rotující kuličky
(detailní popis experimentu na str. 99, pracovní list na str. 281.),
3. Kapalina v rotující nádobě
(detailní popis experimentu na str. 231, pracovní list na str. 285.),
4. Lodičky na rotující hladině
(detailní popis experimentů na str. 105 a 108, pracovní list na str. 289.).

7.2.1 Souvislost s gymnaziálním kurikulem

Vybrané experimenty doplňují a rozšiřují tematický celek rotační pohyb spadající do mechaniky hmotného bodu. Kromě dovedností specifických pro pohyb po kružnici, jsou v připravených aktivitách dále rozvíjeny další dovednosti spadající do dalších tematických celků kinematika a dynamika hmotného bodu. Byť je tomuto tématu tradičně ve středoškolských učebnicích (např. [29] a [66]) věnována relativně velká pozornost, v *Rámcovém vzdělávacím programu pro gymnázia* [11] z tohoto tématu není zmíněno nic a tak jediným dokumentem, ve kterém nalezneme zmínku o některé ze specifických dovedností spadajících do tohoto tematického celku zůstává *Katalog požadavků zkoušek společné části maturitní zkoušky* [65]:

- Určit výpočtem v jednoduchých případech veličiny popisující rovnoměrný pohyb bodu po kružnici: periodu, frekvenci, rychlost, úhlovou rychlost, dostředivé zrychlení.

Jelikož v současné době není nabízena možnost maturovat ve společné části maturitní zkoušky z fyziky, zůstává rozhodnutí o zařazení tohoto tématu čistě na konkrétní škole. Na většině středních škol však velmi pravděpodobně toto téma ve školních vzdělávacích programech nalezneme. Lze tak usuzovat i z toho, že jej zařazují O. Lepil a E. Svoboda do všech variant školního vzdělávacího programu, které připravili v publikaci [67] jako modelová zpracování pro různé hodinové dotace na gymnáziu i na odborné střední škole.

7.2.2 Bližší popis sady pokusů

Zařazené experimenty jsou rozděleny do čtyř stanovišť. Aktivity byly připravovány tak, aby studenti na jednom stanovišti strávili ideálně 20 - 25 minut. Lekce v laboratoři se tedy odehrává podle harmonogramu ve variantě B (viz tabulka 5.16), při které studenti přecházejí mezi jednotlivými stanovišti a projdou tak všemi připravenými aktivitami. Tabulka 7.3 shrnuje důležité informace o jednotlivých stanovištích - udává očekávané činnosti studenta na daném stanovišti, přehled důležitých pojmů, se kterými se student seznámí resp. bude používat, a přehled vzorců, které se na daném stanovišti uplatní.

Při sestavování těchto aktivit jsem se snažil, aby svými cíli pokrývaly všechny kategorie cílů praktické práce I. - V. popsané v podkapitole 1.3 na straně 12. Hlavní pomůckou při naplňování tohoto požadavku byla struktura aktivit (pra-

Tabulka 7.3: Očekávané činnosti studenta při jednotlivých aktivitách v tematickém celku *Rotující soustavy*

Úloha	Očekávané činnosti studenta během jednotlivých aktivit	Důležité pojmy	Rovnice
Dostředivá síla	<ul style="list-style-type: none"> Pomocí stopek změří periodu rovnoměrného pohybu po kružnici, chybu měření snižuje použitím aritmetického průměru. K měření síly využívá bezdrátový siloměr. Pomocí programu Logger Pro vynesce graf závislosti dostředivé síly na periodě otáčení. Proložením křivky mocninného předpisu vnesenými body určí závislost F_d na T a porovná ji s teorií. Porovnáním předpisu proložené křivky s teoretickou závislostí a se znalostí poloměru otáčení tělesa určí hmotnost tělesa konajícího pohyb po kružnici. Formuluje závěr experimentu. 	<ul style="list-style-type: none"> Inerciální a neinerciální vztažná soustava. Dostředivá síla a zrychlení. Perioda. Hmotnost. 	$F_d = ma_d$ $a_d = 4\pi^2 r \cdot \frac{1}{T^2}$
Rotující kuličky	<ul style="list-style-type: none"> Odhadne chování kuličky v rotující kyvetě. Svoje tvrzení podloží argumenty a diskutuje se spolužáky. O platnosti hypotézy rozhodne experimentem. S pomocí odvodí vztah pro polohu kuličky v kyvetě s půlkruhovým průřezem rotující stálou rychlostí. Získanou rovnici konfrontuje s pozorováním v předchozím experimentu. Provede kvantitativní experiment, kterým ověří platnost získané rovnice. Formuluje závěr experimentů. 	<ul style="list-style-type: none"> Inerciální a neinerciální vztažná soustava. Dostředivá síla a zrychlení. Perioda. Úhlová rychlost. Tíhová síla, tíhové zrychlení. Tangens. 	$F = ma_d$ $a_d = 4\pi^2 r \cdot \frac{1}{T^2}$ $F_g = mg$ $g = 9,8 \text{ Nkg}^{-1}$
Kapalina v rotující nádobě	<ul style="list-style-type: none"> Odhadne chování kapaliny v rotující kyvetě. Svoje tvrzení podloží argumenty a diskutuje se spolužáky. O platnosti hypotézy rozhodne experimentem. Změří periodu otáčení kyvety pomocí světelné závory. Pořídí fotografii pozorovaného jevu. Pomocí programu Logger Pro odečte z fotografie body na rotující hladině a přenesse jejich polohu do grafu. Vnesenými body v grafu $h(r)$ proloží parabolou. Na základě znalosti předpisu paraboly a periody otáčení kyvety identifikuje správnou rovnici pro tvar hladiny kapaliny rotující nádobě. Formuluje závěr experimentů. 	<ul style="list-style-type: none"> Parabola Úhlová rychlost Perioda Hustota vody Tíhové zrychlení 	$y = ax^2$ $\omega = \frac{2\pi}{T}$ $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \text{ kgm}^{-3}$ $g = 9,8 \text{ Nkg}^{-1}$ $h = \frac{\omega^2}{2g} r^2$
Lodičky na rotující hladině	<ul style="list-style-type: none"> Vytvoří a popíše vodní vír při vytékání vody z lahve a za pomoci magnetické míchačky v kádince. Vytvoří a popíše ohnivý vír vytvořený v rotujícím drátěném válcovém koši. Pozoruje chování různých modelů lodiček na hladině kapaliny v rotující nádobě. Jejich pohyby popíše a na základě pozorování sestaví pravidla pro jejich pohyb. (Na vyšší úrovni: sestaví silové diagramy znázorňující síly působící na jednotlivé modely lodiček při jejich pohybu na hladině kapaliny v rotující nádobě.) 	<ul style="list-style-type: none"> Vír Maelström Paraboloid Těžiště Plavání těles Hustota (Dostředivá síla, vztahová síla, tíhová síla, skládání sil, výslednice sil, Newtonovy pohybové zákony) 	

covních listů). Téměř pro všechny aktivity byla využita varianta zadání práce označená v kapitole 3 jako ILEP (Interactive Laboratory Experience Procedure).

1. Dostředivá síla

Hlavním cílem této aktivity je, aby studenti uměli popsat a vysvětlit závislost dostředivé síly na periodě otáčení. Mezi vedlejší cíle patří zvládnutí práce podle daného postupu. Kromě zvládnutí praktických dovedností vyžaduje pracovní list po studentech rovněž vytvoření vlastní hypotézy na základě dané teorie. Tím, že studenti tento úkol vyplní ještě před samotným měřením a své hypotézy diskutují, zlepšují svoje vědecké myšlenkové návyky a rozvíjí svoji osobnost. Studenti by měli při samotném měření spolupracovat a rozdělit si svoji práci: jeden či dva studenti měří periodu otáčení, další čte návod a nastavuje napětí na elektromotoru, čtvrtý pracuje s počítačem a ukládá naměřené údaje. Tím opět rozvíjí svoji osobnost, učí se spoléhat na práci druhého.

2. Rotující kuličky

Z hlediska znalostí a dovedností je hlavním cílem této aktivity, aby studenti dokázali popsat síly působící na těleso v rotující soustavě (kulička uvnitř kyvety se zakřiveným dnem) a jejich vliv na chování tělesa. Z hlediska schopnosti řešit úlohy je cílem, aby studenti dokázali kvantitativně předpovědět polohu tělesa pro danou úhlovou rychlost. Aktivita se snaží rovněž rozvíjet vědecké myšlenkové návyky postupem, kdy studenti nejprve předpoví výsledek experimentu, následně svoje hypotézy diskutují, provedou experiment, na daný problém se zaměří teoreticky a následně získaný obecný teoretický závěr ověřují experimentálně. Aktivita tak ukazuje studentům nezastupitelnou roli experimentu ve vědě. Diskuzí jejich výsledků a porovnáváním s předcházejícími hypotézami studenti rozvíjí své vědecké postoje.

3. Kapalina v rotující nádobě

Hlavním cílem této aktivity je, aby studenti zjistili („objevili“), jaký je tvar hladiny v rotující nádobě. Z hlediska praktických dovedností se studenti naučí pracovat s fotoaparátem v režimu priority času a odečítat polohu bodů z fotografie pomocí počítače a programu Logger Pro. Struktura zadání ILEP pomáhá podobně jako v předchozích případech zlepšovat vědecké myšlenkové návyky a rozvíjet vědecké postoje studentů.

4. Lodičky na rotující hladině

Hlavními cíli této aktivity je, aby studenti dokázali popsat, jak je možné vytvořit vír a odhalili, podle jakých pravidel se pohybují lodičky (předměty) položené na rotující hladinu. Na vyšší úrovni je cílem, aby se studenti dozvěděli, jak jimi zjištěná pravidla souvisí se silami působícími na předměty na rotující hladině. Do aktivity je opět zařazeno vytváření hypotézy, její obhajoba před spolužáky a experimentální ověření.

7.3 Mechanické kmitání a mechanika tuhého tělesa

Jak již název napovídá spojuje tento tematický celek dvě na střední škole většinou oddělená témata. Pro studenty jsou připravena čtyři stanoviště:

1. Měření momentu setrvačnosti
(detailní popis experimentů na str. 235, pracovní list na str. 292)
2. Kmitání tělesa na pružině
(detailní popis experimentu na str. 123, pracovní list na str. 297)
3. Pohybové kyvadlo
(detailní popis experimentu na str. 242, pracovní list na str. 298)
4. Torzní kmity
(detailní popis experimentů na str. 248, pracovní list na str. 301)

7.3.1 Souvislost s gymnaziálním kurikulem

Rámcový vzdělávací program pro gymnázia [11] je z pohledu dotčených témat velmi strohý. Ani jeden z jím daných očekávaných výstupů neodpovídá specifickému vzdělávacímu cíli oblastí mechanické kmitání a mechanika tuhého tělesa. Z hlediska těchto témat RVP pouze říká, že učivo musí obsahovat partie

- moment síly,
- kmitání mechanického oscilátoru, jeho perioda a frekvence.

Návrhy tematických plánů, které nabízí příručka O. Lepila a E. Svobody [67], je k těmto tématům mnohem vstřícnější. V porovnání s ní a s učivem obsaženým v klasických učebnicích [29], [30] můžeme říci, že aktivity zařazené do tohoto programu IFL částečně opakují a upevňují učivo probírané na gymnáziu, částečně jdou nad jeho rámec a to především

- detailním teoretickým popisem kroucení drátu a zkrutné pružiny,
- zařazením experimentů s kmitáním tuhého tělesa (Na gymnáziu se řeší především jeho otáčení případně valení.),
- detailním (i matematickým) popisem rezonanční křivky.

7.3.2 Bližší popis sady pokusů

Jak již bylo zmíněno výše, aktivity v tomto programu jsou opět rozděleny do čtyř stanovišť a následují časový harmonogram varianty B (viz tabulka 5.16). V ideálním případě se skupinky studentů prostřídají na všech čtyřech stanovištích. Tabulka 7.4 shrnuje důležité informace o jednotlivých stanovištích - očekávané činnosti studenta; důležité pojmy související s aktivitami na stanovišti; rovnice, které jsou při řešení úloh potřebné, případně s nimi úzce souvisí.

Z hlediska varianty zadání práce postupují připravené aktivity podle různých scénářů. Dvě ze stanovišť (1. a 3.) využívají složitějších aparatur, a studentům je třeba dát detailní návod, jak postupovat. Převládá zde tedy přístup objevující se v českých učebnicích a pracovní list má charakter návodu. Druhé stanoviště představuje klasický jednoduchý experiment kmitání tělesa na pružině, z toho důvodu je tato aktivita připravena netradičně podle schématu *Fyzika s chutí* (viz podkapitola 3.2). Na čtvrtém stanovišti se mísí přístupy klasického návodu a struktury ILEP což se projevuje především zapojením úkolu, při kterém studenti na základě dané teorie předpovídají (zakreslují a zapisují) výsledky měření.

1. Měření momentu setrvačnosti

Hlavními cíli této aktivity je, aby studenti dokázali popsat závislost momentu síly potřebného ke zkroucení zkrutné pružiny o daný úhel na velikosti tohoto úhlu, a aby se seznámili s různými možnostmi určení momentu setrvačnosti tělesa.

2. Kmitání tělesa na pružině

Hlavním cílem aktivity je představit studentům grafické vyjádření závislosti dvou veličin a to na konkrétním příkladu dobře známého kmitání tělesa na pružině. Studenti se rovněž procvičí v práci s grafy (určení periody z grafu, návrh vhodného měřítka, zakreslování bodů do grafu, prokládání křivky, určování souřadnic).

Tabulka 7.4: Očekávané činnosti studenta při jednotlivých aktivitách v tematickém celku Mechanické kmitání a tuhé těleso

Úloha	Očekávané činnosti studenta během jednotlivých aktivit	Důležité pojmy	Rovnice
Měření momentu setrvačnosti	<ul style="list-style-type: none"> Sestaví aparaturu podle obrázku. Proměří závislost momentu síly na úhlu otočení zkrutné pružiny. Využitím směrnice přímky určí směrnici momentu pružiny. Pomocí dataloggeru proměří závislost úhlu vychýlení torzního oscilátoru na čase. Z výsledného grafu určí periodu. Určí moment setrvačnosti tělesa dvěma různými způsoby – ze znalosti periody kmitání a směrnice momentu pružiny; a z rozložení hmoty v tělese. Získané výsledky porovná. 	<ul style="list-style-type: none"> Moment setrvačnosti Perioda Moment síly Rameno síly Direkční moment Výchylka torzního oscilátoru 	$M = J \cdot \varepsilon$ $T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{D}}$ $M = -D \cdot \varphi$ <p>Vztahy pro výpočet momentů setrvačnosti různých těles.</p>
Kmitání tělesa na pružině	<ul style="list-style-type: none"> Sestaví aparaturu podle obrázku. Proměří závislost periody pružinového oscilátoru na hmotnosti zavěšeného závaží. Naměřené údaje vynesou do grafu, využívá milimetrový papír. Vynesené body proloží hladkou křivkou. Z grafu určí hmotnost pro danou periodu $T = 0,8$ s. Vytvoří oscilátor o zjištěné hmotnosti a experimentálně ověří periodu jeho vlastního kmitání. 	<ul style="list-style-type: none"> Oscilátor. Perioda. Hmotnost Druhá odmocnina 	$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$
Pohlovo kyvadlo	<ul style="list-style-type: none"> Zapojí aparaturu podle schématu. Seznámí se s fungováním aparatury a kvalitativně vyzkouší, jak tlumení ovlivňuje kmitání kyvadla. Proměří závislost frekvence otáčení motorku na přiloženém napětí a za předpokladu přímé úměrnosti určí její koeficient. Určí periodu a frekvenci vlastního kmitání oscilátoru. Proměří závislost amplitudy výchylky oscilátoru na napětí napájecím motorem. Za využití naměřených údajů a programu Logger Pro vytvoří graf závislosti amplitudy výchylky na budící frekvenci. Z grafu (rezonanční křivky) určí rezonanční frekvenci a porovná ji s frekvencí vlastního kmitání. 	<ul style="list-style-type: none"> Pohlovo kyvadlo Vlastní kmitání Tlumené kmitání Nucené kmitání Indukční brzda Rezonanční křivka Amplituda Perioda Frekvence Přímá úměrnost 	$f = \frac{1}{T}$ $f = k \cdot U$ $ A = \frac{S}{2\pi \sqrt{(f_0^2 - f^2)^2 + 4\delta^2 f^2}}$
Torzní kmit	<ul style="list-style-type: none"> Sestaví aparaturu podle obrázku. Na základě prostudované teorie se pokusí předpovědět (načrtne graf) závislost periody torzních kmitů drátu na jeho délce a poloměru. Na základě dané tabulky vlastností materiálů se pokusí seřadit vybrané materiály podle velikosti modulu pružnosti v torzi. Změří periodu vlastních torzních kmitů daných drátů, naměřené údaje zapíše společně s danými vlastnostmi drátů (materiál, délka, poloměr průřezu) do tabulky. Na základě naměřených údajů sestaví v MS Excel grafy závislosti periody na délce a poloměru drátu a určí, o jaké závislosti se jedná. Výsledky porovná se svojí předpovědí. Na základě naměřené periody kmitání tyčí z různých materiálů seřadí tyto materiály podle modulu pružnosti v torzi. Výsledky porovná se svojí předpovědí. 	<ul style="list-style-type: none"> Kmitání Torze Moment síly Dvojice sil Direkční moment Modul pružnosti v torzi Moment setrvačnosti Perioda kmitání Mocninná funkce 	$M = D\varphi$ $D = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{R^4}{L} \cdot G$ $T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{D}}$ $T = \frac{2\pi}{R^2} \sqrt{J \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \frac{L}{G}}$

3. Pohlovo kyvadlo

Cílem této aktivity je, aby studenti dokázali na konkrétním příkladu popsat a vysvětlit rozdíly mezi vlastním, tlumeným a nuceným kmitáním; souvislost rezonance, rezonanční křivky a rezonanční frekvence; a způsob jakým tlumení ovlivňuje tvar rezonanční křivky.

4. Torzní kmity

Cílem aktivit na tomto stanovišti je, aby studenti dokázali popsat, jak ovlivňuje délka a poloměr zkrutného vlákna periodu torzního kyvadla a jak tato perioda souvisí s modulem pružnosti v torzi vybraných materiálů. Studenti rovněž zjistí, jakým způsobem určit pomocí MS Excel typ hledané závislosti mezi dvěma veličinami.

7.4 Magnetické pole solenoidu

Tento program sestává ze tří částí:

1. Základní vlastnosti magnetického pole kvalitativně
2. Základní vlastnosti magnetického pole kvantitativně
3. Magnetické pole v praxi

7.4.1 Souvislost s gymnaziálním kurikulem

Základní popis magnetického pole (pole magnetů a vodičů s proudem, magnetická indukce), stejně jako elektromotor patří mezi základní učivo na gymnáziu (viz *RVP pro gymnázia* [11]). To jsou společně s pohybem nabitě částice v elektrickém a magnetickém poli témata, která v IFL tvoří základ programu s názvem *Magnetické pole solenoidu*. Z pohledu vzorových tematických plánů připravených pro učitele v publikaci [67] lze považovat tematické zaměření aktivit za odpovídající gymnaziální úrovni. Drobnou nadstavbou je pouze bližší popis Hallovy sondy a její praktické využití pro zkoumání vlastností magnetického pole v některých aktivitách namísto didaktické pomůcky Teslametr. Dle získaných zkušeností z proběhlých akcí v IFL se však zdá, že i když se s Hallovým jevem studenti ve škole nesetkali, nečiní jim jeho použití v experimentech žádný větší problém. Jistou nadstavbou je pro studenty rovněž práce s pokročilými aparaturami v částech věnujících se pohybu nabitě částice v elektrickém a magnetickém poli, stejně jako samotné zaměření těchto experimentů, které mají přesah do částicové fyziky, která je na gymnáziu probírána zpravidla až po elektřině a magnetismu.

7.4.2 Bližší popis sady pokusů

Aktivity vybrané a připravené pro tento program byly sestaveny podle časového schématu, který je popsán tabulkou 5.17. Studenti jsou rozděleni do čtyř skupinek a postupně projdou třemi částmi.

Jednotlivými aktivitami provádí studenty webové stránky [68] připravené pro tento program v IFL. Ty jsou stejně jako experimenty rozděleny do tří částí. Jednotlivé sekce obsahují zadání praktické práce studentům, popis potřebného vybavení, schémata zapojení případně fotografie aparatury a pracovní postup. Tam, kde je to vhodné, jsou uvedeny odkazy na soubory programů MS Excel případně Logger Pro, které jsou připraveny v daných experimentech pomoci studentům se zpracováním naměřených hodnot. Studenti tak zpracovávají měřené údaje pomocí počítače. Pro zápis závěrů svých pozorování a měření mají k dispozici záznamový arch [69] v tištěné podobě. Záznamový arch záměrně obsahuje prostor pro zápis výsledků všech experimentů zařazených do tohoto tematického celku. Studenti tak mají možnost si při prezentacích výsledků svých kolegů zaznamenat jejich závěr a odejít s uceleným dokumentem popisujícím aktivitu třídy při návštěvě v IFL. Věřím, že toto mohou ocenit především učitelé, kteří by se v některé z následujících hodin fyziky chtěli k aktivitám studentů v IFL vrátit. Záznamový arch, webové stránky včetně připravených souborů ke zpracování naměřených údajů i jejich ukázkově vyplněné kopie, které mohou sloužit jako vzorové řešení pro budoucí pracovníky IFL, jsou k dispozici v příloze na CD.

Dále jsou krátce popsány jednotlivé části programu. Přehled očekávaných činností studentů během jednotlivých aktivit jsou společně s pojmy a vzorci podstatnými pro dané téma uvedeny v tabulkách 7.5 a 7.6.

1. Základní vlastnosti magnetického pole kvalitativně

První část programu (základní vlastnosti magnetického pole kvalitativně) je společná pro všechny a studenti v nich projdou sadou šesti jednoduchých experimentů, ve kterých by měli objevit (zopakovat si) základní vlastnosti magnetického pole a jejich závislost na různých parametrech. Konkrétně tím je myšleno, jak je magnetické pole cívky v daném místě ovlivněno

- A) velikostí proudu procházejícího cívkou,
- B) směrem proudu procházejícího cívkou,
- C) polohou na ose cívky,
- D) smyslem vinutí cívky,
- E) počtem závitů cívky a
- F) přítomností jádra v dutině cívky.

Všechny tyto vlastnosti jsou řešeny kvalitativně a všechny experimenty by měli studenti vyřešit přibližně za 30 minut. Pomůcky (popis aparatury viz [70]) pro tuto část byly zakoupeny od Mgr. Václava Piskače, který je současně autorem těchto aktivit. Jejich zadání bylo pro potřeby IFL převzato z pracovních listů [71]. Popis experimentů v návodu pro studenty jsem doplnil vlastními fotografiemi. Aktivitu v první části slouží především jako odrazový můstek pro část druhou.

Po skončení první části je v programu vyhrazen čas na společnou diskuzi všech účastníků, ve které studenti probírají a komentují dosažené výsledky. Tato diskuze je moderována vybraným pracovníkem IFL.

2. Základní vlastnosti magnetického pole kvantitativně

Druhá část je rozšířením úvodní partie. Úkolem studentů je pomocí experimentů zjistit o jaké konkrétní typy závislostí mezi dvěma danými veličinami se jedná - tj. přímá, nebo nepřímá úměrnost, závislost na druhé mocnině dané veličiny, apod. Každá ze skupin studentů dostane ke zkoumání jednu ze závislostí:

- A) Závislost velikosti magnetické indukce ve středu cívky na velikosti proudu.
- B) Závislost velikosti magnetické indukce ve středu cívky na počtu závitů cívky.
- C) Závislost velikosti magnetické indukce ve středu cívky na její délce.
- D) Průběh velikosti magnetické indukce na ose cívky.

Experimenty A - D jsou společně s připravenými aparaturami a výsledky měření blíže popsány v podkapitole 8.5.

Pokud by některá ze skupin vypracovala úkol o mnoho dříve než zbývající, je pro ni připravena další aktivita, při které proměří:

- E) Závislost velikosti magnetické indukce cívky v její blízkosti na materiálu jádra.

Po skončení druhé části jsou všichni studenti opět svoláni ke společné diskuzi, na které jednotlivé skupiny seznámí spolužáky se svými výsledky. Ti si je zaznamenají do připraveného prostoru v záznamovém archu.

3. Magnetické pole v praxi

V třetí části opět každá ze skupinek pracuje na rozdílných úkolech. Cílem této části je ukázat studentům možné využití magnetického pole. Dvě skupiny studentů tak využijí magnetické pole ke konstrukci různých variant elektromotoru, dvě k určení

Tabulka 7.5: Očekávané činnosti studenta při jednotlivých aktivitách v první a druhé části tematického celku Magnetické pole solenoidu

Úloha	Očekávané činnosti studenta během jednotlivých aktivit	Důležité pojmy	Rovnice
1. Základní vlastnosti magnetického pole - KVALITATIVNĚ			
A – F	<ul style="list-style-type: none"> Sestaví aparatury podle předlohy (obrázků). Provede experiment podle připraveného postupu a pozoruje chování jednoduchého indikátoru magnetického pole (buzoly případně hřebíčků). Na základě pozorování zformuluje, jakým způsobem může být ovlivněno magnetické pole cívky. 	<ul style="list-style-type: none"> Magnetické pole cívky Parametry cívky (počet závitů, směr vinutí cívky) Elektrický proud Buzola Feromagnetické látky 	
2. Základní vlastnosti magnetického pole – KVANTITATIVNĚ			
A - C	<ul style="list-style-type: none"> Sestaví aparatury podle schématu či fotografie. Provede kalibraci měřicího obvodu s Hallovou sondou. Podle postupu proměří závislost Hallova napětí na použité sondě ve středu cívky na daném parametru (velikost proudu, délka cívky, počet závitů cívky). Naměřené údaje zapiše do připraveného souboru, který podle daných parametrů sondy vypočte příslušné hodnoty magnetické indukce a vykreslí graf závislosti magnetické indukce na příslušném parametru. Analyzuje graf a na jeho základě usoudí, o jaký typ zkoumané závislosti se jedná. Formuluje závěr experimentu a společně s náčrtem grafu jej zaznamená do záznamového archu. Odpoví na doplňující otázky uvedené u dané aktivity v záznamovém archu. 	<ul style="list-style-type: none"> Magnetické pole cívky Solenoid Parametry cívky (počet závitů, délka) Elektrický proud Magnetická indukce Ampérovo pravidlo pravé ruky Hallův jev 	$B_s = \mu \cdot \frac{N \cdot I}{l}$
D	<ul style="list-style-type: none"> Sestaví aparaturu podle schématu či fotografie. Provede kalibraci teslametru. Proměří průběh magnetické indukce na ose cívky podle daného postupu. Naměřená data zapiše do tabulky připravené v programu Logger Pro. Program automaticky zakreslí tyto údaje do grafu. Vynesenými body proloží křivku danou funkčním předpisem (8.12). Za parametry délky a poloměru cívky dosadí naměřené údaje a zbývající parametry nastaví ručně tak, aby křivka (dle jeho soudu) co nejlépe procházela vynesenými body. Získaný graf načrtne do záznamového archu a připojí jeho slovní popis. Odpoví na doplňující otázky uvedené u dané aktivity v záznamovém archu. 	<ul style="list-style-type: none"> Magnetické pole cívky Solenoid Parametry cívky (délka, poloměr závitů, ...) Magnetická indukce Teslametr 	Rovnice (8.12) popisující průběh magnetické indukce na ose cívky Rovnice (8.15) porovnávající velikost magnetické indukce na konci a ve středu solenoidu
E	<ul style="list-style-type: none"> Sestaví aparaturu podle schématu či fotografie. Provede kalibraci měřicího obvodu s Hallovou sondou. Postupně vymění různá jádra v cívice a zjistí jejich vliv na magnetickou indukci v blízkosti cívky. Zformuluje závěr, zapiše jej do záznamového archu a odpoví na doplňující otázky. 	<ul style="list-style-type: none"> Magnetické pole cívky Jádro Magnetické vlastnosti látek Permeabilita 	$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$

měrného náboje elektronu rovněž různými způsoby. Tyto aktivity byly rozděleny do čtyř stanovišť:

- Jak změřit měrný náboj elektronu, tj. poměr jeho náboje a hmotnosti. Metoda založená na pohybu elektronu v magnetickém poli.
- Jak změřit měrný náboj elektronu. Kompenzační metoda založená na pohybu

Tabulka 7.6: Očekávané činnosti studenta při jednotlivých aktivitách ve třetí části tematického celku Magnetické pole solenoidu

Úloha	Očekávané činnosti studenta během jednotlivých aktivit	Důležité pojmy	Rovnice
<i>3. Magnetické pole v praxi</i>			
A	<ul style="list-style-type: none"> Seznámí se se zapojením a fungováním aparatury. Nastaví urychlovací napětí elektronů a proud Helmholtzovými cívkami tak, aby se elektrony pohybovaly po kruhové trajektorii s daným poloměrem. Nastavení provede několikrát pro různé hodnoty urychlovacího napětí. Naměřené hodnoty napětí a proudu zaznamená do tabulky připravené v programu MS EXCEL, který automaticky dopočítá příslušné velikosti magnetické indukce, vynese body do grafu závislosti $2U$ na $(Br)^2$ a proloží jimi přímkou procházející počátkem. Ze získaného grafu určí měrný náboj elektronu a vyjádří jeho velikost v hlavní jednotce $C \cdot kg^{-1}$. Získaný výsledek porovná s tabulkovou hodnotou. Náčrtek použitého grafu společně s výsledky запиše do záznamového archu. 	<ul style="list-style-type: none"> Měrný náboj elektronu Magnetické pole cívky Helmholtzovy cívky Magnetická indukce Pohyb po kružnici Pohyb částice s nábojem v magnetickém poli Přímá úměrnost 	$2U = \frac{e}{m} \cdot (Br)^2$
B	<ul style="list-style-type: none"> Seznámí se se zapojením a fungováním aparatury. Nastaví napětí na elektrodách elektrického pole a proud Helmholtzovými cívkami tak, aby byly účinky elektrického a magnetického pole na pohyb elektronů kompenzovány. Nastavení provede pro dané různé hodnoty proudu cívkami. Naměřené hodnoty napětí a proudu zaznamená do tabulky připravené v programu MS EXCEL, který automaticky dopočítá příslušné velikosti magnetické indukce i elektrické intenzity, vynese body do grafu závislosti E na $(2U \wedge B^2)$ a proloží jimi přímkou procházející počátkem. Ze získaného grafu určí měrný náboj elektronu a vyjádří jeho velikost v hlavní jednotce $C \cdot kg^{-1}$. Získaný výsledek porovná s tabulkovou hodnotou. Náčrtek použitého grafu společně s výsledky запиše do záznamového archu. 	<ul style="list-style-type: none"> Měrný náboj elektronu Magnetické pole cívky Helmholtzovy cívky Magnetická indukce Homogenní elektrické pole Elektrická intenzita Pohyb částice s nábojem v magnetickém poli Přímá úměrnost 	$E^2 = \frac{e}{m} \cdot 2U \wedge B^2$
C	<ul style="list-style-type: none"> Seznámí se se složením aparatury. V jednotlivých krocích sestavuje elektromotor z dané soupravy. V daných fázích pozoruje vliv různých zapojení na chování elektromagnetu. Výsledky pozorování průběžně zapisuje do záznamového archu. 	<ul style="list-style-type: none"> Stejnoseměrný elektromotor Komutátor 	
D	<ul style="list-style-type: none"> Podle daného návodu sestaví vlastní model jednoduchého elektromotoru. Uvědomuje si vliv směru magnetických indukčních čar permanentních magnetů a cívky na její pohyb. 	<ul style="list-style-type: none"> Stejnoseměrný elektromotor Jednopolový komutátor Setrvačnost Magnetické indukční čáry 	

elektronu v elektrostatickém a magnetickém poli.

C) Jak postavit stejnosměrný elektromotor. Verze se stavebnicí.

D) Jak postavit jednoduchý elektromotor z dostupných součástí.

Dalším cílem aktivit A a B je seznámit studenty s možností linearizace závislosti a její následné využití při hledání neznámých veličin jakožto směrnice získané přímky procházející počátkem souřadnic. Při sestavování aktivit na stanovištích A a B jsem se nechal inspirovat návody k použitým aparaturám [72], [73]. Aktivita na

stanovišti C vychází z možností použité sady *Motor - generátor* dodávané firmou Didaktik s.r.o. Model elektromotoru, který studenti sestavují na stanovišti D je již klasickým experimentem, který se objevuje v mnoha variantách. Použitý model vychází z námětu [74].

Svoje závěry případně vytvořené modely motorů si studenti vzájemně představí při miniprezentacích, které tvoří závěr programu.

8. Pokusy pro IFL

Tato kapitola popisuje některé experimenty, které jsem pro IFL připravil. I když bych rád, aby zde mohly být zařazeny všechny experimenty, rozsah této kapitoly a tedy i samotného textu disertační práce by byl neúnosně velký. Z toho důvodu je popis zbývajících experimentů zařazen do přílohy B. Pro výběr experimentů do této kapitoly jsem si stanovil následující kritéria:

- Vybrané experimenty by měly být ukázkou různých forem zadání praktických aktivit, jak jsou popsány v kapitole 3.
- Vybrané experimenty by měly reprezentovat různé časové průběhy práce v IFL (viz tabulky 5.16 a 5.17).
- Vybrané experimenty by měly reprezentovat různé tematické celky/programy nabízené IFL.

Současně jsem se snažil vybrat takové experimenty, u nichž považuji svůj osobní příspěvek za velmi vysoký. Do výběru zařazeného do této kapitoly jsem proto nezařadil například finančně náročnější experimenty (popsané např. v podkapitolách B.2, B.3, B.5, ...), u nichž jsou aparatury dány a často již od dodavatele obsahují náměty na měření.

Tabulka 8.1: Zařazení vybraných experimentů do jednotlivých kategorií. Časové plány A, B, C popisují tabulky 5.16 a 5.17. Varianty zadání KZ (klasické české zadání), ILEP (Interactive Laboratory Experience Procedure), FCH (Fyzika s chutí) popisuje kapitola 3. Jednotlivé tematické celky popisuje kapitola 7.

Název experimentu	Časový plán	Varianta zadání	Tematický celek
8.1 Ověření Coulombova zákona na digitálních vahách	A	KZ	Elektrostatika
8.2 Kulička uvnitř kyvety se zakřiveným dnem	B	ILEP, KZ	Rotující soustavy
8.4 Pohyb těles plavajících na rotující hladině	B	ILEP	Rotující soustavy ...
8.5 Magnetické pole solenoidu	C	KZ	Magnetické pole ...
8.6 Kmitání na pružině	B	FCH	Mechanické kmitání ...

Přehled vybraných experimentů zachycuje tabulka 8.1. Tento výběr jsem doplnil krátkým efektním experimentem *Ohnivý vír* (podkapitola 8.3), který v IFL slouží

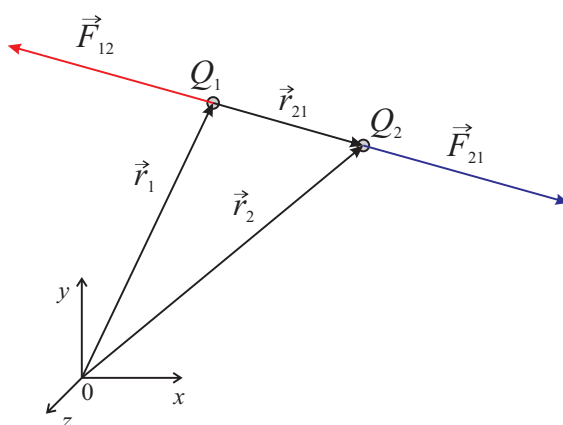
mimo jiné jako úvodní motivační pokus pro zkoumání pohybu lodiček na rotující hladině.

8.1 Ověření Coulombova zákona na digitálních váhách

Cílem tohoto experimentu je ověřit známý Coulombův zákon pomocí jednoduchých pomůcek a to především závislost velikosti elektrostatické síly na vzdálenosti nábojů. Samotný Charles A. Coulomb musel použít v r. 1785 dostupné vybavení. Aby docílil potřebné přesnosti, použil k měření elektrické síly mezi nabitými kuličkami torzní váhy. Tento experiment může být s úspěchem realizován i dnes. To dokumentuje například článek [75], ve kterém autoři popisují vlastní opakování Coulombova měření. V současnosti si podobnou aparaturu může škola zakoupit u některých firem dodávajících učební pomůcky (viz např. [76]). Níže popsany postup je však co do provedení mnohem jednodušší a může být poměrně snadno součástí výuky jako demonstrační, nebo i laboratorní experiment.

Při přípravě tohoto experimentu pro IFL jsem byl inspirován článkem [77]. V původním článku [77] je experiment popisován za použití pokovených vánočních ozdob jakožto nabíjených kulových ploch. V tomto ohledu jsem experiment pozměnil a využil ping-pongových míčků na jejichž povrch byla nanесena vodivá barva. Jelikož kuličky nepředstavují bodové náboje, bylo nutné tento fakt zohlednit i při interpretaci výsledků měření a přidat „korekci“ na změnu rozložení náboje na kuličkách při jejich vzájemném působení. Tento jev popisuje například článek [78].

8.1.1 Teorie



Obrázek 8.1: K vzájemnému silovému působení dvou bodových nábojů.

Coulombův zákon popisuje vzájemné působení bodových nábojů o velikostech Q_1 , Q_2 . Situaci znázorňuje obrázek 8.1. Vztah pro sílu \vec{F}_{21} , kterou působí náboj Q_1

na náboj Q_2 , vyjadřuje Coulombův zákon a lze jej psát ve tvaru

$$\vec{F}_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q_1 Q_2}{r_{21}^3} \cdot \vec{r}_{21}, \quad (8.1)$$

kde $\vec{r}_{21} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$ a ϵ je elektrická permitivita prostředí v němž se náboje nachází. Obráceně vyjádření pro sílu \vec{F}_{12} , kterou působí náboj Q_2 na náboj Q_1 , dostaneme záměnou indexů 1 a 2 ve vztahu (8.1). Je tedy zřejmé (i podle Newtonova zákona akce a reakce), že $\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$. Pokud jsou náboje souhlasné (mají stejné znaménko), je součin $Q_1 Q_2$ kladný a síly jimiž na sebe náboje působí jsou odpudivé, jak zachycuje obrázek 8.1. Pokud bude jeden z nábojů kladný a druhý záporný, dojde ke změně směru síly. Záporné znaménko tohoto součinu tedy odpovídá přitažlivé síle.

Pro velikost elektrické síly působící mezi dvěma bodovými náboji platí vztah

$$F = |\vec{F}_{21}| = |\vec{F}_{12}| = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{|Q_1 Q_2|}{r_{21}^2}. \quad (8.2)$$

Korekce Coulombova zákona pro nebodové náboje

V reálných situacích však tělesa bodový charakter nemají. Z tohoto důvodu je nutné pro praktické použití odvodit vztah, který bude udávat velikost síly působící mezi dvěma nabitými vodivými kuličkami o nenulovém poloměru R ve vzdálenosti $r > 2R$. Budeme řešit zjednodušenou situaci, ve které jsou kuličky ve vzdálenosti r , obě mají stejný poloměr R i jejich celkový náboj Q je stejně velký.

Detailní odvození uvádím v příloze A. To vychází z článku [78] a publikace [79]. V porovnání s článkem [78] je dle mého názoru odvození uvedené v příloze detailnější, neboť v něm nevynechávám některé kroky, a v porovnání s publikací [79] je konkrétnější, jelikož se zaměřuje přímo na dvě odpuzující se kuličky o stejném poloměru.

Výsledný vzorec pro velikost síly působící mezi dvěma nabitými kuličkami pak udává následující rovnice (8.3).

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q^2}{r^2} \left(1 - 4 \left(\frac{R}{r} \right)^3 - 6 \left(\frac{R}{r} \right)^5 + 14 \left(\frac{R}{r} \right)^6 + \dots \right) \quad (8.3)$$

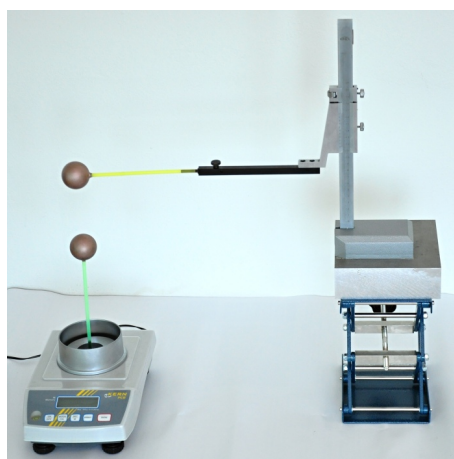
Je patrné, že korekční člen hraje menší roli, pokud je poměr poloměru kuliček ku jejich vzdálenosti $\frac{R}{r}$ malý. Tedy, pokud by se jednalo o malé kuličky ve velké vzdálenosti (resp. ideálně bodové náboje), přejde rovnice (8.3) zpět v „klasický“ vztah označovaný jako Coulombův zákon. V sestavení experimentu, jak jej používáme v IFL postačuje pouze první korekční člen a proto bude dále uvažována velikost

působící síly mezi dvěma identickými kuličkami o poloměru R , s nábojem Q ve vzdálenosti středů r jako

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q^2}{r^2} \left(1 - 4 \left(\frac{R}{r} \right)^3 \right) \quad (8.4)$$

8.1.2 Aparatura a princip měření

Aparatura sestává ze dvou ping-pongových míčků nastříkaných vodivou barvou¹ připevněných na klasická plastová brčka, která slouží jako izolační stojánky. Jeden z míčků stojí na digitálních vahách s citlivostí 1 mg, druhý je upevněn v pohyblivém stativu s posuvným měřítkem, které umožňuje měřit vzdálenost míčků. Váhy zde nahrazují siloměr². Kuličky nabíjíme pomocí školního vysokonapětového zdroje (25 kV).



Obrázek 8.2: Aparatura pro ověření Coulombova zákona (složení zleva: digitální váhy s citlivostí 1 mg, stativ s vertikálním měřením vzdálenosti a vodivé kuličky na podstavcích).

Jednu z kuliček umístíme na váhy, druhou upevníme do stativu. Stativ nastavíme tak, aby kuličky byly přímo nad sebou a při jejich dotyku byla na posuvném měřítku hodnota 4 cm (tj. průměr míčku). V tomto nastavení odpovídá údaj na posuvném měřítku vzdálenosti středů obou kuliček r . Kuličky umístíme do větší vzdálenosti, např. 20 cm. Dotykem vývodu vysokonapětového zdroje obě nabijeme na potenciál

¹Byla použita barva Emilac na bázi mědi, která se běžně používá pro odstínění od elektromagnetických vln. Za technické řešení mého nápadu vděčím Ing. Ludvíku Němcovi z KDF MFF UK v Praze.

²Tato idea byla převzata z již zmíněného článku [77]. Namísto autorem použitých vánočních ozdob na stojácích coby těles, které je možno nabíjet a nechat na sebe působit, jsme vyrobili trvanlivější pomůcky.

cca 20 kV. Kuličky s krokem 1 cm postupně přibližujeme a zapisujeme údaje na digitálních vahách i vzdálenost do připravené tabulky. Následně dopočítáme velikost působící elektrické síly, tuto sílu označíme např. jako F_e (experimentální). Dále určíme i „coulombickou“ sílu F_c , kterou „zbavíme“ korekčního členu. Učiníme tak podle rovnice

$$F_c = F_e : \left(1 - 4 \left(\frac{R}{r} \right)^3 \right), \quad (8.5)$$

která plyne ze vztahu (8.4).

Do grafu závislosti působící síly na vzdálenosti středů kuliček vyneseme obě sady bodů, jak pro závislosti $F_e(r)$, tak $F_c(r)$. Tyto body pak fitujeme mocninnou funkcí.

8.1.3 Výsledky měření

Ukázkové měření bylo provedeno dvakrát. První měření proběhl ráno ihned po příchodu do laboratoře, která byla vytopená a dlouho nevětraná. Experiment byl proveden desetkrát. Získaná data „přírůstků hmotností“ kuličky (údaj z digitální váhy) a příslušných vzdáleností jsou uvedena v tabulce E.1 v příloze E.5 na CD. Z údajů na digitálních vahách byly dopočítány velikosti sil F_e („naměřené“ v experimentu) a F_c („coulombické“). Tyto údaje jsou zaznamenány v tabulkách E.2 a E.3. Data každého z deseti měření byla vynesena do grafu a v program MS Excel jimi byla proložena křivka daná předpisem $F = A \cdot r^B$, kde A a B představují parametry. Pro zhodnocení výsledku experimentu je podstatný přehled získaných koeficientů B uvedený v tabulce 8.2. Z výsledků je patrné, že zkoumaná závislost se ani po přepočtu F_e na F_c podle vztahu (8.5) neblíží teoretickému předpokladu. Zjištěné exponenty jsou $B_e = (-1,28 \pm 0,06)$, $B_c = (-1,67 \pm 0,06)$.

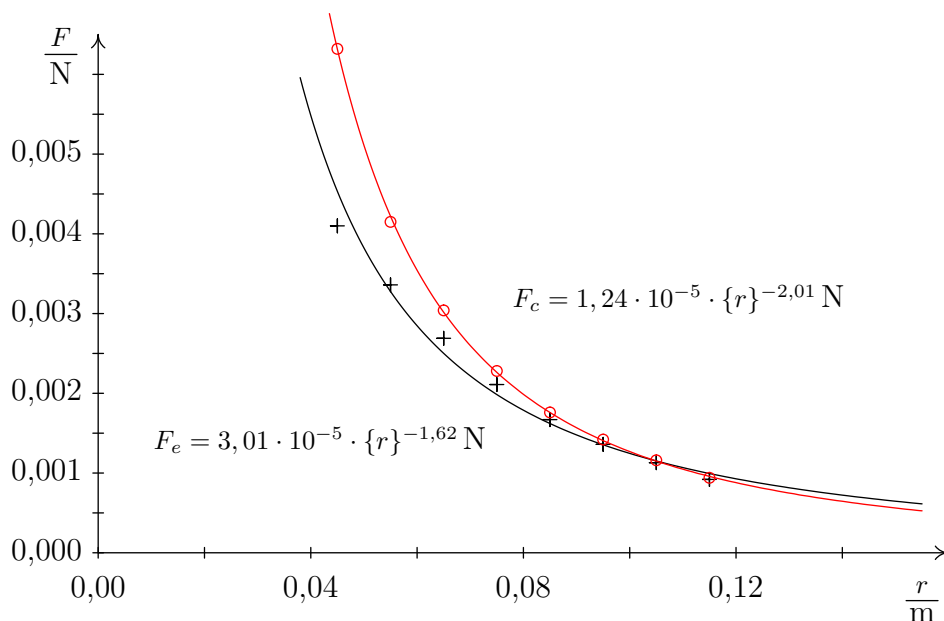
Druhé měření bylo provedeno po vyvětrání o hodinu později. Naměřené data (tabulka E.4 v příloze E.5 na CD) byla zpracována stejným způsobem jako v prvním měření. Velikosti dopočítaných sil uvádí tabulky E.5 (pro F_e) a E.6 (pro F_c). Získané hodnoty byly vyneseny do grafů závislosti $F(r)$. Jeden z grafů je na obrázku 8.3. Tabulka 8.3 dává přehled získaných exponentů B v této druhé sadě měření. Zjištěné exponenty jsou $B_e = (-1,6 \pm 0,1)$, $B_c = (-2,0 \pm 0,1)$. Exponent B_c se tak v rámci chyby měření shoduje s výše popsanou teorií.

Tabulka 8.2: Porovnání zjištěných exponentů B mocninných funkcí tvaru $F = A \cdot r^B$. $B_e \dots$ exponent v závislosti $F_e(r)$, $B_c \dots$ exponent v závislosti $F_c(r)$. Vychází z dat naměřených **v nevětrané místnosti**.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B_e	-1,30	-1,18	-1,21	-1,30	-1,22	-1,33	-1,36	-1,36	-1,23	-1,30
B_c	-1,69	-1,57	-1,61	-1,69	-1,62	-1,72	-1,75	-1,75	-1,62	-1,69

Tabulka 8.3: Porovnání zjištěných exponentů B mocninných funkcí tvaru $F = A \cdot r^B$. $B_e \dots$ exponent v závislosti $F_e(r)$, $B_c \dots$ exponent v závislosti $F_c(r)$. Vychází z dat naměřených **ve vyvětrané místnosti**.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B_e	-1,45	-1,62	-1,76	-1,43	-1,52	-1,56	-1,75	-1,67	-1,74	-1,74
B_c	-1,84	-2,01	-2,15	-1,83	-1,91	-1,95	-2,14	-2,07	-2,13	-2,13



Obrázek 8.3: Závislost elektrické síly působící mezi dvěma vodivými kuličkami o poloměru $R = 2 \text{ cm}$ na vzdálenosti jejich středů r . $F_e \dots$ v experimentu naměřená síla, $F_c \dots$ síla s korekcí dopočítaná podle rovnice (8.5).

8.1.4 Pracovní list

Tento experiment je součástí experimentální sady *Elektrostatika*, konkrétně části *Platí Coulombův zákon? Pole nabitě koule..* Tomu odpovídá i jeho zařazení do příslušného pracovního listu, ve kterém tvoří jeho první část (viz příloha C, str. 258).

Jelikož je tento experiment zadán podobným způsobem jako v klasických českých gymnaziálních učebnicích (viz 3.1), obsahuje kromě stanovení cíle a popisu teorie rovněž detailní popis měření a tabulku pro záznam dat.

8.1.5 Shrnutí a zkušenosti

Provedený pokus ukazuje, že závislost velikosti elektrické síly na vzdálenosti, která je dána Coulombovým zákonem, lze potvrdit i pomocí jednoduchých pomůcek. V neprospěch experimentátora hraje především rychlé vybíjení kuliček, které je markantní především v místnostech, kde je vyšší vlhkost vzduchu, nebo kde se topí. Rozhodně není dobré provádět experiment na stole, za kterým je umístěn blok pracujícího ústředního topení. Ideální tak je, pokud na měření pracují dva lidé - jeden posouvá kuličku po stativu a odečítá hodnoty, druhý zapisuje údaje. Pokud použijeme digitální váhy vybavené USB připojením k počítači, můžeme tento pokus použít i jako demonstrační.

Domnívám se, že tento experiment je zajímavý hned z několika důvodů. Jednak je to díky netradičnímu využití váhy. Studenti tak mohou lépe porozumět principu jejího fungování, tj. že váha spíše než hmotnost měří tíhu předmětu. Studenti rovněž získají reálnou představu o velikosti elektrických sil mezi dvěma tělesy. V pracovním listu jsou navíc popsána další rozšíření experimentu a studenti si tak se stejnou aparaturou vyzkouší prakticky i další znalosti, které mohli získat ve škole, jako je vzájemné působení vodiče a nabitého tělesa a nabití tělesa pomocí elektrostatické indukce. Na tomto experimentu pokládám rovněž za velice důležité to, že ukazuje limity použití „klasického“ Coulombova zákona pro reálná nebodová vodivá tělesa.

8.2 Kulička uvnitř kyvety se zakřiveným dnem

V tomto experimentu se studenti seznámí s tím, na jakých parametrech závisí vychýlení kónického kyvadla, potažmo kuličky uvězněné v rotující kyvetě s prohnutým dnem. Dno má ve svislém řezu, který je rovnoběžný s její stěnou, tvar půlkružnice. Experiment vychází z aparatury zakoupené od firmy Didaktik s.r.o. a je do jisté míry variantou na klasický pokus se zmíněným kónickým kyvadlem (viz např. [80]).

8.2.1 Teorie

Na malou kuličku v rotující kyvetě působí dvě významné síly, tíhová \vec{F}_g a tlak podložky (stěny kyvety) \vec{F}_t . Směr jejich výslednice určuje směr zrychlení kuličky. Pokud je tato síla kolmá k ose otáčení kyvety, jedná se o dostředivou sílu \vec{F}_d . Tuto situaci zachycuje obrázek 8.4³ a kulička v ní opisuje kružnici v rovině kolmé k ose otáčení.

Polohu kuličky v kyvetě můžeme popisovat například pomocí úhlu α , který svírá vektor síly stěny kyvety působící na kuličku a osa otáčení. Pro tento úhel platí při dané úhlové rychlosti rovnice

$$\tan \alpha = \frac{F_d}{F_g} = \frac{m\omega^2 r}{mg} = \frac{\omega^2 r}{g}, \quad (8.6)$$

kde ω je úhlová rychlost otáčení, r je vzdálenost kuličky od osy otáčení a g je tíhové zrychlení.

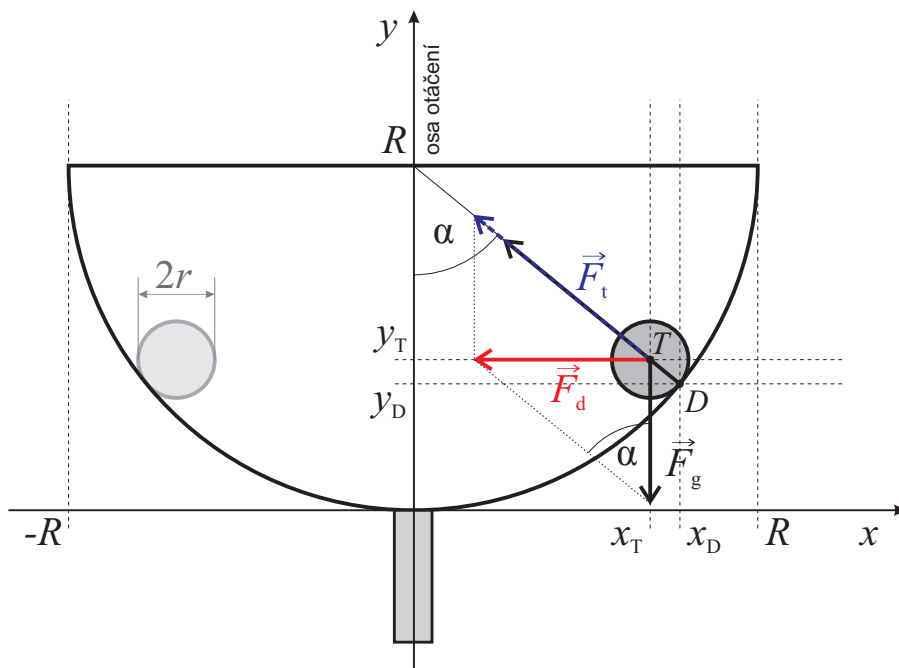
Z hlediska možných pozic kuličky při dané úhlové rychlosti existují dvě řešení, dvě rovnovážné polohy. Jedna stabilní, která odpovídá situaci na obrázku 8.4, jejíž pozice je popsána úhlem α ve vztahu (8.6) a druhá labilní při úhlu $\alpha = 0$.

8.2.2 Aparatura a princip měření

Aparatura sestává ze stativu, kyvety, dvou stejně velkých ale různě těžkých kuliček. Kyvetu je možno roztáčet ručně pomocí kliky, případně pomocí elektromotoru, který je napájen zdrojem stejnosměrného napětí. Rychlost otáček je možné určit pomocí světelné závory připojené k dataloggeru LabQuest.

V první části ukážeme to, že kulička se při roztočení kyvety vychýlí. Dále, že pozice kuličky nezávisí na hmotnosti kuličky. Tyto jednoduché experimenty je možné

³Jelikož jsou obě síly nesouměrné a míří různým směrem, je nutné jednu z nich (na obrázku se jedná o sílu \vec{F}_t) posunout. Teprve poté je možné je klasicky skládat za použití rovnoběžníku sil.



Obrázek 8.4: K odvození polohy kuličky v rotující kyvetě.

vykonat tak, že budeme kyvetu roztáčet ručně.

V druhé (již kvantitativní) části ověříme rovnici (8.6) pro pozici kuličky při konkrétní úhlové rychlosti, resp. periodě otáčení. Zde je nutné udržet alespoň po krátkou dobu stálou rychlost otáčení. Z toho důvodu je nutné kyvetu roztáčet pomocí motoru. Periodu otáčení určíme pomocí optické závory a připojeného dataloggeru, úhel (pozici kuličky) určíme pomocí úhlooměru připevněného na jednu ze stěn kyvety⁴. Postupujeme tak, že si volíme jeden z úhlů, ten na úhlooměru barevně vyznačíme. Vložíme kuličku do kyvety a nastavíme takovou rychlost otáčení, aby se kulička ustálila na zvolené pozici. Následně změříme příslušnou periodu otáčení. Dosazením do rovnice (8.6) za ω a r vypočteme úhel, na kterém by se měla kulička nacházet a porovnáme jej s na začátku stanoveným úhlem.

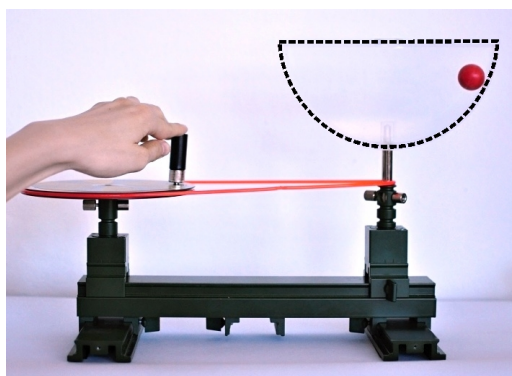
8.2.3 Výsledky měření

Obrázek 8.5⁵ ukazuje, že při otáčení kyvety se kulička vychýlí. To, že pozice kuličky nezávisí na její hmotnosti můžeme pozorovat na obrázku 8.6, kde jsou zachyceny

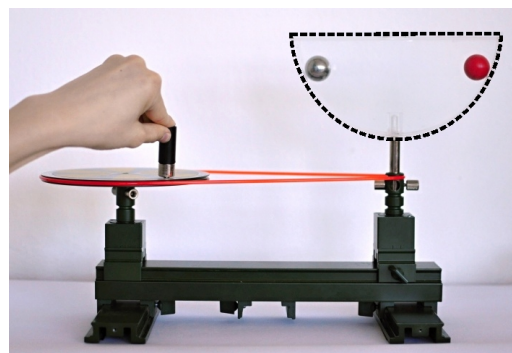
⁴Zatímco v první části je experiment sestaven přesně dle katalogu dodavatele, tak v druhé části jsem aparaturu doplněnou o elektromotor, úhloměr a optickou závoru sestavil na základě vlastního nápadu a nikde jsem se s ní dříve nesetkal.

⁵Kyveta je vyrobena z plastu a na fotografii nebyl dobře rozpoznatelný její okraj. Z toho důvodu jsem ji obrázcích 8.5 a 8.6 zvýraznil doplněním přerušované čáry.

dvě kuličky (červená - plastová a stříbrná - ocelová) různých hmotností v otáčející se kyvetě.

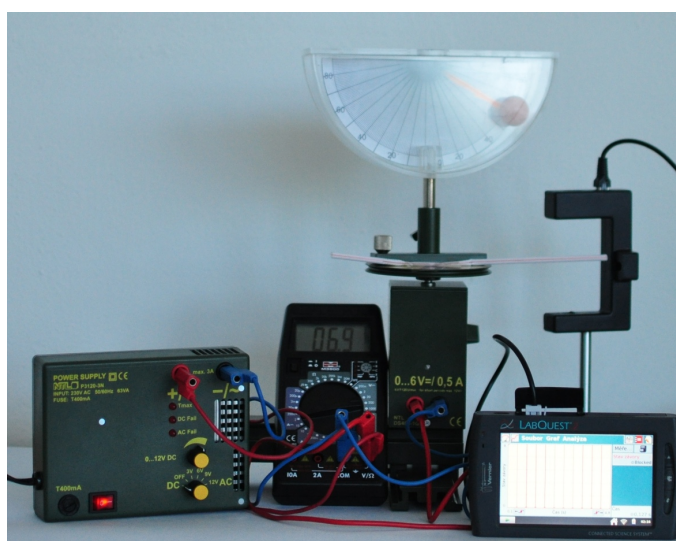


Obrázek 8.5: (vlevo) Jedna kulička v rotující kyvetě.



Obrázek 8.6: (vpravo) Dvě kuličky v rotující kyvetě.

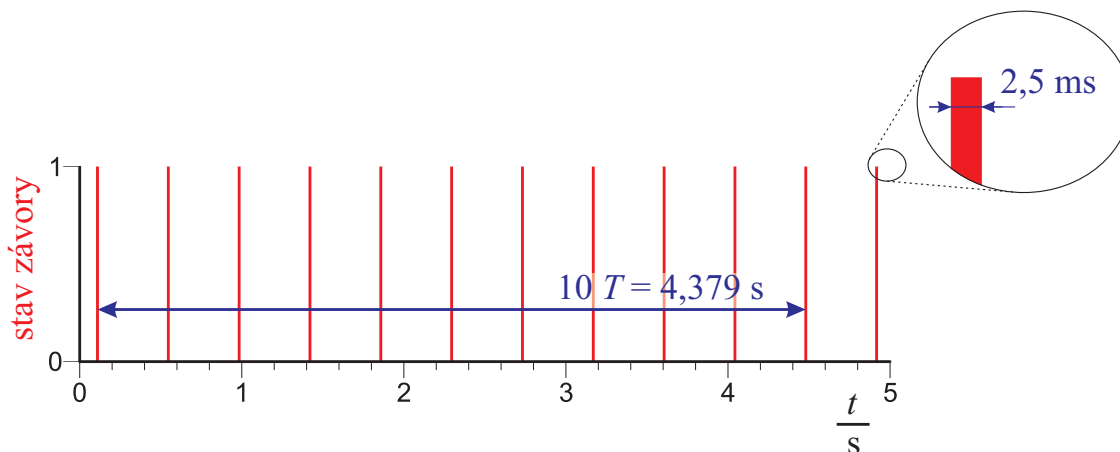
Pro druhou kvantitativní část experimentu byla v kyvetě ponechána pouze jedna červená kulička. Jako úhel vychýlení byl zvolen úhel $\alpha = 60^\circ$. Kyveta byla roztočena tak, aby se kulička na této výchylce ustálila (viz obrázek 8.7).



Obrázek 8.7: Kulička v rotující kyvetě roztáčené pomocí motorku při výchylce 60° .

Na obrázku 8.7 je rovněž patrný datalogger s výsledným grafem (viz obrázek 8.8) zobrazující časový průběh stavů závory, ze kterého lze odečíst periodu otáčení $T \doteq 0,438$ s.

Poloměr otáčení kuličky byl určen v klidové situaci. Úhломěr byl sundán z kyvety, kulička vyndána ven a položena na stejné místo úhломěru, na kterém se nacházela při otáčení kyvety. Při tomto experimentu byl určen poloměr obíhání kuličky jako



Obrázek 8.8: Časový vývoj stavu závory. Základ obrázku byl vytvořen dataloggerem. Následná úprava graf zjednodušuje a doplňuje důležité údaje, které z něj byly odečteny. Stav 0 ... brána otevřena (paprsek je nepřerušen), 1 ... brána zavřena (paprsek přerušen).

$r = 8,1$ cm. Z těchto údajů (r a T) je možné podle rovnice 8.6 vypočítat, jaká by měla být teoreticky poloha kuličky

$$\begin{aligned} \tan \alpha_t &= \frac{\omega^2 r}{g} = \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \cdot \frac{r}{g} = \frac{4\pi^2}{g} \cdot \frac{r}{T^2} \doteq \frac{4\pi^2}{9,81} \cdot \frac{0,081}{0,438^2} \doteq 1,699 \\ \alpha_t &\doteq 59,5^\circ \end{aligned} \quad (8.7)$$

Relativní odchylka předpokládané polohy α a polohy určené ze změřených údajů α_t je přibližně 1 %.

8.2.4 Pracovní list

Tento experiment je součástí experimentální sady *Rotující soustavy*. Pracovní list je v příloze C na straně 281.

Pracovní list staví studenty před tři větší problémy. První odpovídá kvalitativní části experimentu, kdy odhadují a následně ověřují, která z různých těžkých kuliček bude při stálé rychlosti otáčení kyvety výš. Za tímto účelem jsem využil formu zadání označenou jako Interactive Laboratory Experience Procedure (viz podkapitola 3.3), kdy jsou studenti stavěni před praktické problémy, vytvářejí hypotézy, diskutují o nich a následně je ověřují. Druhý problém, který studenti v pracovním listu řeší, je teoretické odvození výše uvedeného vztahu (8.6). Náповědou při řešení tohoto problému jim je obrázek, případně MFCH tabulky, které mají v IFL k dispozici.

Tato druhá část je odrazovým můstkem ke kvantitativní části experimentu, jak byla prezentována výše. Z hlediska varianty zadání druhého a třetího úkolu bychom mohli říci, že se blíží klasickému způsobu používanému v českých učebnicích (viz podkapitola 3.1).

8.2.5 Shrnutí a zkušenosti

I když se jedná spíše o tradiční experiment, který nevyužívá pomůcek, které by musely studenty uchvátit na první pohled, z vlastní zkušenosti při vedení praktik i od spolupracovníků v IFL vím, že tento experiment patří mezi ty oblíbené a to jak mezi studenty, tak mezi učiteli, kteří je doprovázejí. Domnívám se, že je to hned z několika důvodů. Postup při experimentu je naprosto jasný a přehledný, stejně tak aparatura není nijak složitá. Přesto v sobě skrývá moment překvapení. Drtivá většina studentů totiž při rozhodování o pozici jednotlivých kuliček vysloví chybnou hypotézu a při obhajobě svého tvrzení před spolužáky klade chybné argumenty vycházející z vlastních miskoncepcí ohledně odstředivé síly a setrvačnosti. Následně jsou studenti velmi překvapeni, když „nevyhrává gravitace ani odstředivá síla“. Tento „wav“ efekt ve zdánlivě jednoduchém pokusu považuji za klíčový. Domnívám se, že to je moment, který si studenti zapamatují a v kombinaci s dalšími úkoly v pracovním listu může napomoci opravit zmíněné miskoncepce. V budoucnu bych se chtěl pokusit tuto domněnku ověřit. Věřím, že pokud bychom přemýšleli o vytvoření, či úpravě již existujícího konceptuálního testu zaměřeného na rotační pohyb, pak by tento problém mohl být jeho součástí.

Další části pracovního listu mohou být pro studenty rovněž zajímavé, neboť naznačují další možný postup po provedeném pozorování. Poté co studenti pozorovali jev, se jej pokusí popsat teoreticky (odvodí vztah) a následně správnost této teorie otestují dalším experimentem.

Z hlediska vlastního provedení experimentu studenty nenastávají vážné komplikace a studenti i při kvalitativním měření dosahují výsledků, které přesvědčivě podporují odvozený vzorec pro polohu kuličky. Jediným komplikovanějším prvkem je použití optické závory ve spojení s dataloggerem a určení periody otáčení kyvety. Postup této činnosti není v pracovním listu uveden, neboť by dle mého názoru narušil jeho jednoduchost a přehlednost. Navíc není v tomto případě cílem experimentu trénovat studenty ve sledování přesně daného postupu. Seznámení se způsobem měření periody, které trvá většinou maximálně dvě minuty, tak je na pracovníkovi IFL. Pro určení periody mohu doporučit dvě metody. Jedna z nich byla použita i při

vzorovém měření výše (obrázek 8.8), kdy datalogger zachycuje časový vývoj stavu závory a my můžeme odečíst čas mezi dvěma průchody. Druhou možností je využít speciální funkci „kyvadlo“, kterou LabQuest ve spojení s optickou závorou nabízí. Jak plyne z názvu, je tato funkce doporučována především pro měření periody kyvadla - LabQuest měří dobu mezi prvním a třetím zavřením brány. Při použití v našem případě by tedy údaj udávaný LabQuestem odpovídal dvojnásobku hledané periody otáčení. Oba popsané postupy měření periody byly vyzkoušeny i se studenty a oba byly pro studenty srozumitelné a snadno použitelné.

8.3 Ohnivý vír

V mechanice tekutin se pod pojmem vír rozumí místo v tekutině, kde je výrazný rotační pohyb kolem rovné nebo zakřivené osy. Víry jsou hlavní součástí tzv. turbulentního proudění. Mezi klasické experimenty patří vytvoření vodního víru při vytékání kapaliny z lahve [81]. Experiment popsany v této sekci však ukazuje, jak vytvořit ohnivý vír. Inspiraci na tento pokus jsem získal na festivalu Science on Stage 2013, následně jsem zjistil, že se jedná o známý experiment (viz např. [82], [83]), který je v současnosti v jiném provedení k vidění i v iQlandii v Liberci.

Cílem tohoto experimentu je zajímavou formou seznámit studenty s problematikou proudění. Tento experiment je zahrnut společně s pokusem popsáním v sekci 8.4 (Pohyb těles plavajících na rotující hladině) do jedné větší aktivity a v něm rovněž plní úvodní aktivizační roli.

8.3.1 Teorie

Oblast aerodynamiky je pro matematický popis poměrně náročná a přesahuje i oblast úvodního vysokoškolského kurzu. Jelikož jsou v této práci řešeny experimenty pro středoškoláky, vystačíme si se zjednodušeným popisem demonstrovaného jevu.

Plamen je teplejší než okolí, díky tomu stoupá vzhůru a z okolí se do něj tlačí vzduch, který tak vyplňuje „vzniklé místo“ a umožňuje další hoření.

V případě, že je hořící předmět umístěn uvnitř válcové plochy tvořené sítí, musí vzduch projít skrze její oka. Pokud je síť roztočena, získává díky ní vzduch, který skrze ní prošel, jistý moment hybnosti - vzduch se začne stáčet od svého původního směru. Jak se dostává více do osy válce klesá poloměr jeho rotace a díky tomu, že jeho moment hybnosti je zachován, roste jeho úhlová rychlost.

Pokud se bude hořící předmět otáčet, ale nebude uvnitř kovové sítě, ohnivý vír se nevytvoří.

8.3.2 Aparatura a princip experimentu

Varianta známého experimentu, kterou jsem pro IFL připravil, se proti verzím popsáním v článkách [82], [83] odlišuje jednoduchostí provedení (resp. dostupností potřebných pomůcek). Aparatura sestává z dřevěné otáčivé desky, která je prodávána jako podnos pro jídlo. K této desce je připevněn síťovaný odpadkový koš přibližně tvaru válce. Dovnitř válce je umístěna miska, kterou je možno naplnit technickým lihem, který představuje hořící předmět. Koš je možné také odstranit, misku s hořícím

lihem nechat rotovat bez něj a demonstrovat tak jeho roli při vytvoření víru.

8.3.3 Výsledky experimentu



Obrázek 8.9: (vlevo) Oheň ve stojícím koši.

Obrázek 8.10: (ve středu) Oheň v rotujícím koši.

Obrázek 8.11: (vpravo) Oheň na rotujícím podstavci.

Po zapálení ohně (obrázek 8.9) uvnitř koše a jeho následném roztočení se vytvoří ohnivý vír (obrázek 8.10). Pokud koš odstraníme, vír se nevytvoří (obrázek 8.11).

8.3.4 Pracovní list

Tento experiment je společně s experimentem popsáním v sekci 8.4 zahrnut do jednoho pracovního listu (příloha C, str. 289). V něm je součástí jakéhosi motivačního úvodu k experimentu následujícímu, ve kterém studenti zkoumají pohyb lodiček na rotující hladině.

8.3.5 Shrnutí a zkušenosti

Byť je tento experiment čistě kvalitativní a nespadá do oblasti standardního středoškolského učiva, považuji jeho zařazení do tematického celku *Rotující soustavy* za podstatné. Z vlastní zkušenosti při práci v IFL vím, že je přitažlivý pro všechny

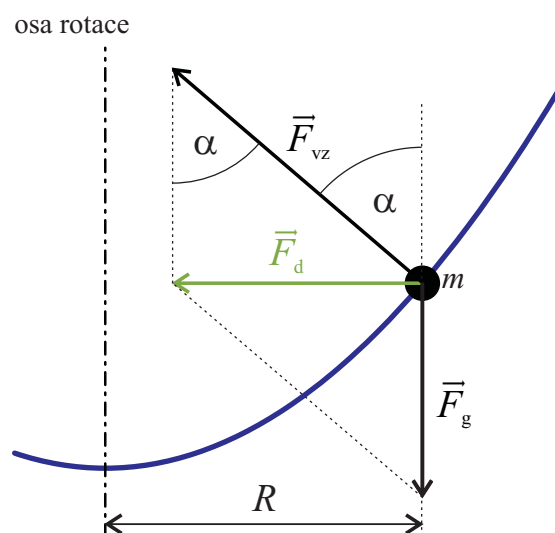
studenty, i ty které fyzika příliš nezajímá. Pokus je pro studenty zajímavý i z praktického hlediska, neboť jim dává možnost prozkoumat způsob vzniku víru, se kterým se mohou potkat. Při diskuzích se studenty se často dostáváme právě k tomu, v čem je experiment podobný skutečnosti například při vzniku tornáda a v čem se naopak liší.

8.4 Pohyb těles plavajících na rotující hladině

Odhalení tvaru hladiny v nádobě rotující stálou rychlostí se věnuje experiment popsaný v příloze B.8. Pokud však již tento tvar známe (jedná se o paraboloid), může nás napadnout, jak se bude chovat lodička na takto zakřivené hladině. V tomto experimentu je hlavním cílem prozkoumat chování modelů různých loděk. Experiment jsem popsal již ve své diplomové práci [84] a článcích [85] a [86]. Podstatnou změnou v tomto textu však je teoretické vysvětlení chování loděk. Zatímco v předchozích pracích jsem jej popisoval z pohledu neinerciální soustavy za použití setrvačných sil, zde je stejná situace popisována výhradně z pohledu experimentátora tedy z inerciální soustavy.

8.4.1 Teorie

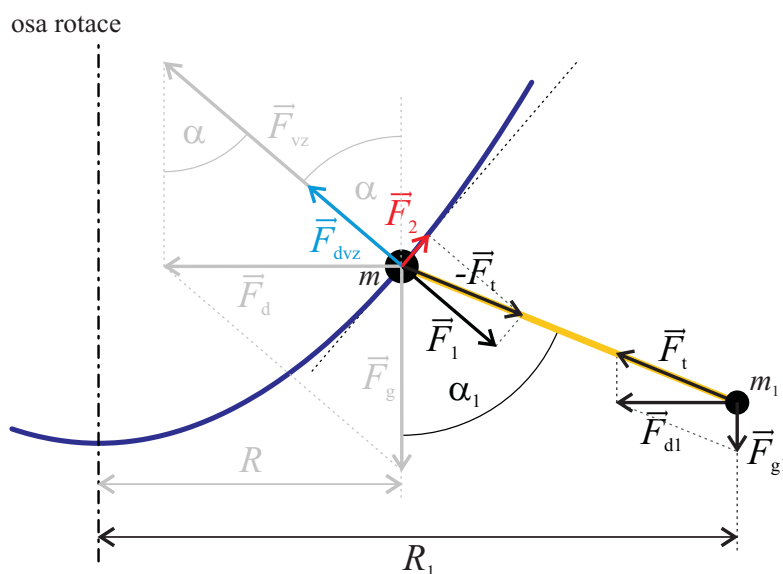
Pokud by lodička měla tvar malé kuličky, jejíž těžiště je na úrovni hladiny, budou na ni působit dvě síly, gravitační a vztlková. Výslednicí těchto sil je síla dostředivá, která směřuje do středu trajektorie, který leží na ose otáčení. Taková lodička (obrázek 8.12) se vůči hladině nebude posouvat a zůstane na místě, při pohledu z inerciální soustavy se bude pohybovat po kružnici.



Obrázek 8.12: Model lodičky na rotující hladině s těžištěm na hladině. Na lodičku působí \vec{F}_g tíhová síla, \vec{F}_{vz} vztlková síla a jejich výslednicí je dostředivá síla \vec{F}_d .

Model lodičky s kýlem

Pokud k takovéto kulové lodičce přidáme malý kýl, který zajistí, že se těžiště posune pod hladinu, bude lodička tažena dále od vrcholu paraboloidu k hornímu okraji nádoby. Stane se tak díky silám, které na kýl a lodičku působí. Obrázek 8.13 ukazuje myšlenkový model takové loďky. Pro jednoduchost se skládá pouze ze stejné malé kuličky jako v předchozím případě (představuje trup) a hmotného bodu pod hladinou (představuje kýl), které jsou spojeny nehmotnou tyčkou. Na trup působí stejně jako v předešlé situaci vztaková \vec{F}_{vz} a tíhová síla \vec{F}_g , jejichž výslednicí je síla dostředivá \vec{F}_d , která umožňuje pohyb po kružnici (v obrázku jsou nyní zakresleny světlejší barvou). V tomto případě však přibývají další síly. Na hmotný bod, který představuje kýl působí tíhová síla \vec{F}_{g1} a tahová síla tyčky \vec{F}_t spojující obě části lodi. Jejich složením je opět síla dostředivá \vec{F}_{d1} . Ponoření kuličky na hladině vyvolává dodatečný vztlak \vec{F}_{dvz} působící na trup lodičky a tak složením této vztlakové síly a tahu tyčky $-\vec{F}_t$ působící na trup je síla \vec{F}_2 , která posouvá loďku po paraboloidu směrem vzhůru.



Obrázek 8.13: Model lodičky s kýlem a působící síly.

Z obrázku 8.13 je patrné, že výsledek celého předchozího odvození spočívá ve vzájemném porovnání úhlů α a α_1 . Velikost každého z nich lze určit pomocí trigonometrických funkcí, pro úhel α platí

$$\tan \alpha = \frac{F_d}{F_g} = \frac{m\omega^2 R}{mg} = \frac{\omega^2 R}{g}, \quad (8.8)$$

pro úhel α_1 obdobně

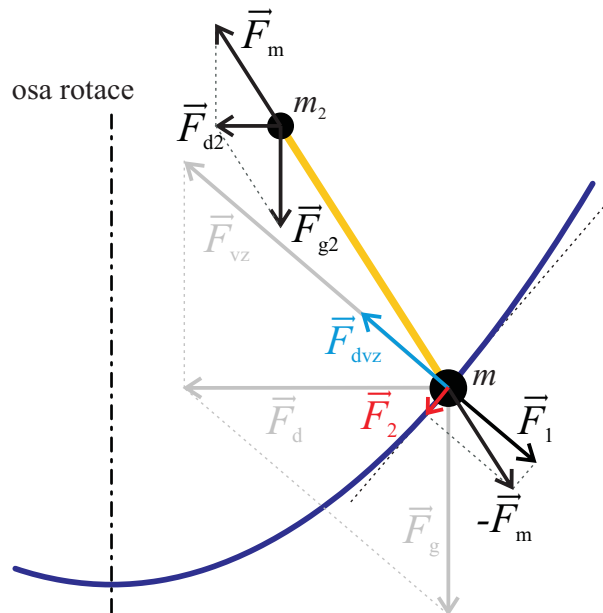
$$\tan \alpha_1 = \frac{\omega^2 R_1}{g}. \quad (8.9)$$

Jelikož se hmotný bod představující kýl pohybuje na větší vzdálenosti $R_1 > R$, je i $\alpha_1 > \alpha$, což je v souladu s obrázkem 8.13.

Model lodičky se stěžněm

Uvažujeme-li lodičku, jejíž těžiště je nad hladinou, bude díky působícím silám tažena do vrcholu paraboloidu, respektive do nejnižšího bodu hladiny rotující kapaliny.

Modelovou situaci a působící síly zachycuje obrázek 8.14⁶. Podobně jako v předchozí situaci s kýlem i zde jsou další síly působící na hmotný bod představující stěžně, který je s kuličkou představující trup spojen nehmotnou tyčkou. Na hmotný bod působí tíhová síla \vec{F}_{g2} a tlaková síla spojující tyčky \vec{F}_m , jejichž výslednicí je dostředivá síla \vec{F}_{d2} . Tlaková síla $-\vec{F}_m$ působící na kuličku představující trup vyvolává dodatečný vztlak \vec{F}_{dvz} . Složením těchto sil je síla \vec{F}_2 , která tlačí lodičku po hladině níže. Náklon stěžně je možné zdůvodnit podobně jako v předchozím případě, děje se tak díky tomu, že hmotný bod představující stěžně je blíže ose otáčení než kulička představující trup loďky.



Obrázek 8.14: Model lodičky se stěžněm a působící síly.

⁶Zdůrazněme, že se jedná skutečně o zjednodušený myšlenkový model, jehož cílem je pouze ukázat, jaký vliv má přítomnost stěžně na pohyb loďky. Loďku bez kýlu by se nám v reálné situaci v labilní poloze udržet nepodařilo a ihned by padala na bok.

8.4.2 Aparatura a popis experimentu

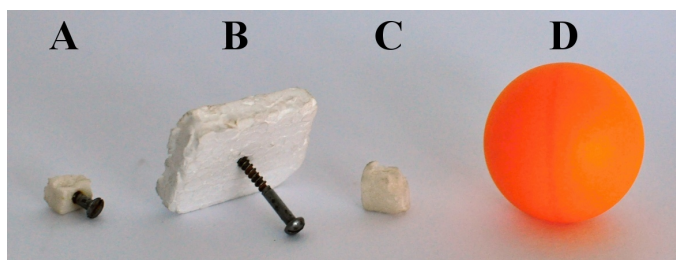
Aparatura (obrázek 8.15) sestává z motoru s regulací otáček (obrázek 8.16), desky připevněné na hřídel motoru a nádoby. Celou sadu doplňují předměty (obrázek 8.17), které je možné na hladinu pokládat.

Před samotným experimentem je třeba nádobu napustit vodou po rysku a umístit na točnu. Následně je možné aparaturu spustit. Otáčky musí být nastaveny tak, aby po ustálení tvaru hladiny nebylo ve středu nádoby suché místo a současně voda nepřetékala okraj nádoby. Na roztočenou hladinu je možné postupně klást různé předměty (ping-pongový míček, kousek polystyrénu, polystyrén se šroubkem, ...) a zkoumat jejich pohyb, tj. zda se pohybují ke středu nádoby, či k jejímu okraji.



Obrázek 8.15: (vlevo) Aparatura pro zkoumání pohybu lodičky na roztočené vodní hladině.

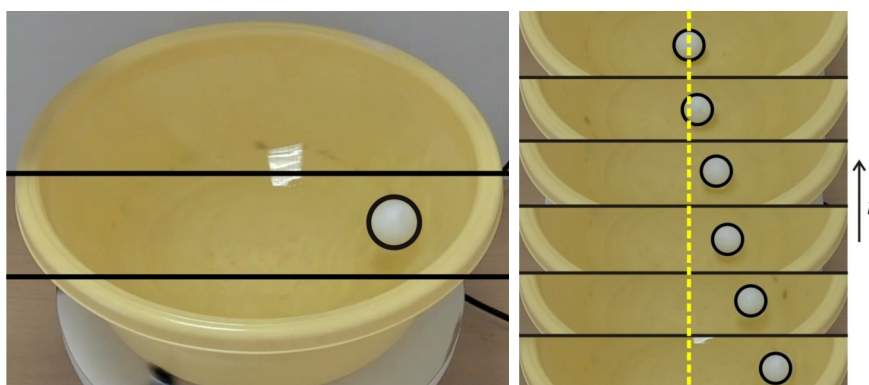
Obrázek 8.16: (vpravo) Detail ovládání motoru.



Obrázek 8.17: Modely lodiček používané při experimentech. Jako model lodičky s kýlem poslouží A (malý kousek polystyrénu se šroubkem) i B (větší kus polystyrénu se šroubkem). Jako model lodičky se stěžněm lze využít B (větší kousek polystyrénu s šroubkem - v případě, že šroubek je na horní straně loďky), C (malý kousek polystyrénu), D (pingpongový míček).

8.4.3 Výsledky pozorování

Experiment potvrzuje teoretický předpoklad. Tělesa, jejichž těžiště se drží nad hladinou kapaliny, se po vložení na hladinu pohybují k jejímu středu a jejich poloha se ustálí právě tam (obrázek 8.18). Tělesa, jejichž těžiště je naopak pod hladinou, se po vložení na rotující hladinu pohybují k jejímu okraji, kde se také jejich poloha nakonec ustálí. Porovnání pohybů obou typů těles po jejich vložení do středu hladiny ukazuje obrázek 8.19.



Obrázek 8.18: Časový průběh pozice míčku na hladině rotující vody. Pozice ping-pongového míčku umístěného na hladinu rotující vody se ustálí v jejím nejnižším bodě - ve vrcholu paraboloidu, jemuž tvar hladiny odpovídá.



Obrázek 8.19: Časový průběh pozice různých lodiček na hladině rotující vody. Lodičky byly v počítači zvýrazněny - \bigcirc ...kousek polystyrénu se šroubkem na své spodní straně (model lodičky s kýlem); \square ...kousek polystyrénu (model lodičky s trupem).

8.4.4 Pracovní list

Tento experiment je společně s pokusem popsáním v sekci 8.3 součástí jednoho pracovního listu (příloha C, str. 289). Pracovní list je v části příslušící experimentu s lodičkami na rotující hladině veden ve formě ILEP (viz sekce 3.3), studenti jsou tedy nejdříve seznámeni s problémovou situací, následně se pokusí samostatně odhadnout, jak dopadne, o svých hypotézách diskutují a až poté provedou experiment. Řešení celého pracovního listu studentům trvá 20 až 30 minut.

8.4.5 Shrnutí a zkušenosti

I když tento experiment tematicky nepřesahuje učivo prvního ročníku gymnázia, je jeho teoretické vysvětlení pro studenty velmi komplikované. Při použití na střední škole bych jej doporučoval využít jako zpestření při výuce vztažných soustav a dostředivé síly, případně při opakování zmíněných pojmů v semináři v závěrečných ročnících střední školy. Pro správné vysvětlení experimentu z pohledu inerciální soustavy je podstatné velmi dobré pochopení konceptu dostředivé síly a Newtonových pohybových zákonů.

8.5 Magnetické pole solenoidu

Magnetické pole v okolí cívky s proudem patří k běžnému učivu, které se v jistém přiblížení vyučuje na základní i střední škole. Vycházíme-li z informací, které jsou uvedeny v používaných učebnicích pro střední školy (např. [32], [87]), zjistíme, že studenti jsou seznámeni například s následujícími poznatky o magnetickém poli cívky:

- Magnetické pole uvnitř nekonečného solenoidu je homogenní.
- Intenzita magnetického pole je přímo úměrná hustotě závitů cívky.
- Velikost magnetického pole na okraji solenoidu konečné délky je přibližně poloviční v porovnání s jeho středem.

Cílem tohoto experimentu respektive sady experimentů je prozkoumat magnetické pole cívky a to hned z několika hledisek:

- Proměřit, jak závisí velikost magnetické indukce uvnitř cívky na velikosti proudu.
- Proměřit, jak závisí velikost magnetické indukce uvnitř cívky na počtu závitů při stálé délce cívky i velikosti proudu cívkou.
- Proměřit, jak závisí velikost magnetické indukce uvnitř cívky na její délce při stálém počtu závitů i velikosti proudu cívkou.
- Proměřit průběh velikosti magnetické indukce na ose cívky (uvnitř i vně).

8.5.1 Teorie

Teorii magnetického pole solenoidu popisuje řada pramenů, např. [88]. Uvažujeme-li velmi dlouhý solenoid, kterým protéká proud I , pak velikost magnetické indukce⁷ B'_S na ose ve středu solenoidu lze vyjádřit pomocí vztahu

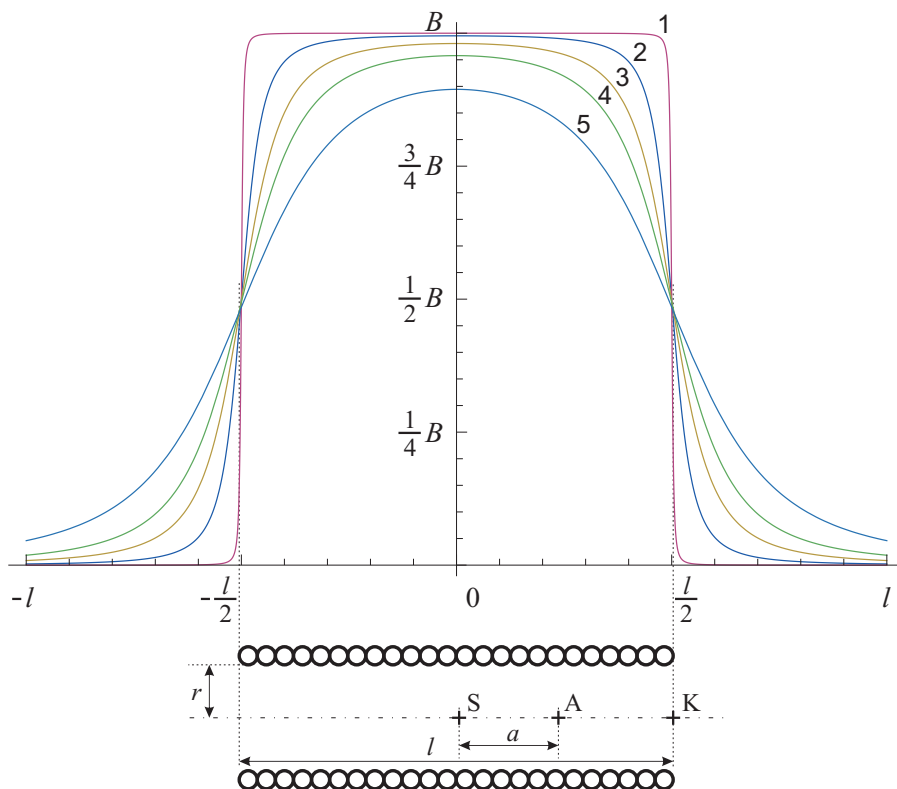
$$B'_S = \mu \frac{NI}{l}, \quad (8.10)$$

kde μ je permeabilita prostředí uvnitř solenoidu, N je počet jeho závitů a l je jeho délka. Poměr $N/l = n$ označujeme jako hustotu závitů cívky. Přesně však tento vztah platí pouze pro nekonečně dlouhý solenoid. Pro solenoid konečné délky, vychází magnetická indukce v jeho středu

⁷Indexy S, A, K značí místa na ose solenoidu, po řadě: střed, obecný bod, kraj cívky (viz obrázek 8.20). Čárkované veličiny představují popis pro velmi dlouhý solenoid.

$$B_S = \mu \frac{nI}{\sqrt{1 + \left(\frac{2r}{l}\right)^2}}, \quad (8.11)$$

kde r představuje poloměr solenoidu. Bude-li $l \gg r$ pak skutečně tento vztah přejde v předcházející. V takovém případě je navíc magnetické pole uvnitř cívky v převážné části jeho délky homogenní.

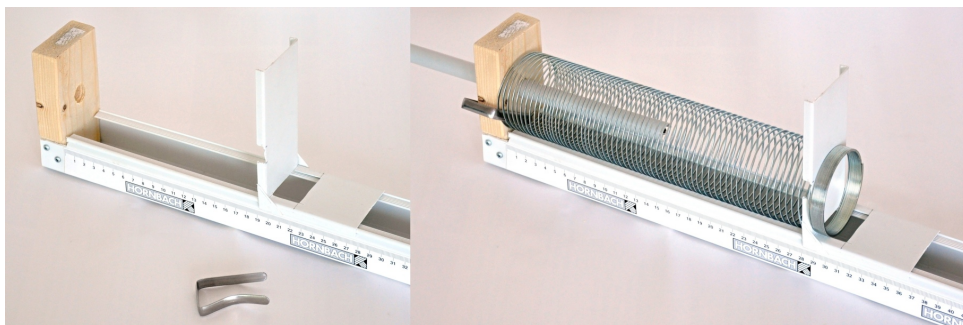


Obrázek 8.20: Porovnání průběhu magnetické indukce B podél osy solenoidu pro různý poměr průměru závitů a délky cívky $2r : l$. 1) 0,01; 2) 0,1; 3) 0,2; 4) 0,3; 5) 0,5. Pro lepší představu je pod grafem znázorněn i řez cívkou příslušné délky.

U solenoidu konečné délky lze odvodit vztah pro průběh magnetické indukce na ose cívky v závislosti na poloze. Pro libovolný bod na ose cívky tak získáváme vztah [88]

$$B_A = \mu \frac{nI}{2} \left[\frac{\frac{l}{2} + a}{\sqrt{r^2 + \left(\frac{l}{2} + a\right)^2}} + \frac{\frac{l}{2} - a}{\sqrt{r^2 + \left(\frac{l}{2} - a\right)^2}} \right], \quad (8.12)$$

ve kterém a označuje vzdálenost bodu A od středu S solenoidu. Uvedený průběh pro pět cívek délky l různých poloměrů zachycuje graf na obrázku 8.20. Zajímá-li nás magnetické pole na koncích cívky (bod K), stačí do rovnice (8.12) dosadit $a = l/2$



Obrázek 8.21: Stativová souprava pro pružinu a sondu magnetického pole

a získáme vztah pro velikost magnetické indukce v těchto místech.

$$B_K = \mu \frac{nI}{2\sqrt{1 + \left(\frac{r}{l}\right)^2}}, \quad (8.13)$$

který pro velmi dlouhou cívku ($l \gg r$) přechází ve výraz

$$B'_K = \mu \frac{nI}{2}. \quad (8.14)$$

Magnetické pole na konci velmi dlouhé cívky je tak vůči magnetické indukci v jejím středu poloviční

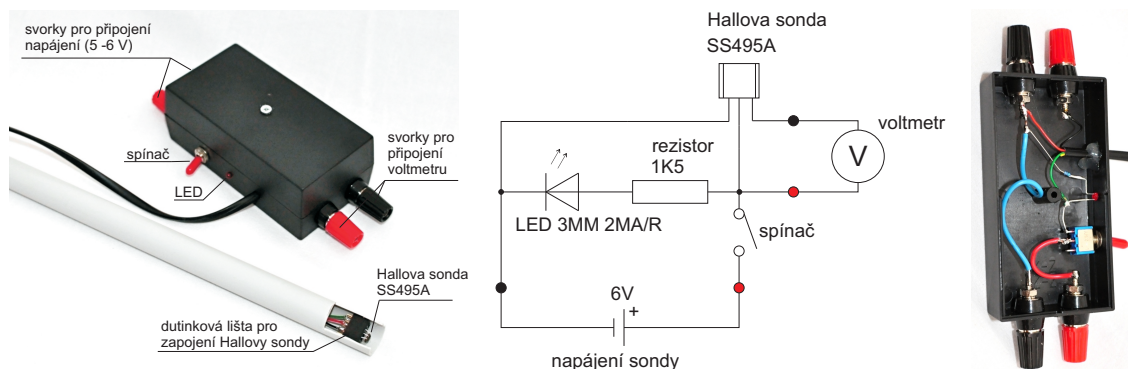
$$B'_K = \frac{1}{2} B'_S. \quad (8.15)$$

8.5.2 Aparatura a princip měření

Pro možnost snadno měnit délku a počet závitů cívky, stejně jako z důvodu finanční dostupnosti jsou v experimentech na místo běžných cívek používány kovové pružiny. K upevnění a nastavení pevné délky solenoidu bylo třeba zhotovit stativ. Jako spolehlivé se ukázalo být zařízení vyrobené z plastových elektrikářských lišt⁸. Jejich velkou výhodou je jejich elektrická nevodivost a snadná příprava posuvných jezdců, které umožňují plynule měnit hustotu závitů. Finální stativová souprava společně s používanou pružinou je zachycena na obrázku 8.21.

Pro potřeby těchto experimentů jsem navrhl a sestavil měřicí aparatury jenž sestávají z Hallovy sondy, napájecího obvodu a digitálního voltmetru. Po vložení

⁸Při použití tohoto materiálu jsem byl inspirován doc. Leošem Dvořákem a jeho skvělou optickou lavicí vyrobenou právě pomocí elektrikářských lišt [89]. Další použití lišt nabízí Václav Piskač při řešení pěkné laboratorní úlohy určené žákům základních škol [90], či stavbě demonstrační odporové dráhy [91].



Obrázek 8.22: (vlevo) Aparatura pro měření magnetické indukce sestávající ze sondy a krabičky s rozvody.

Obrázek 8.23: (uprostřed) Schéma zapojení měřicí aparatury.

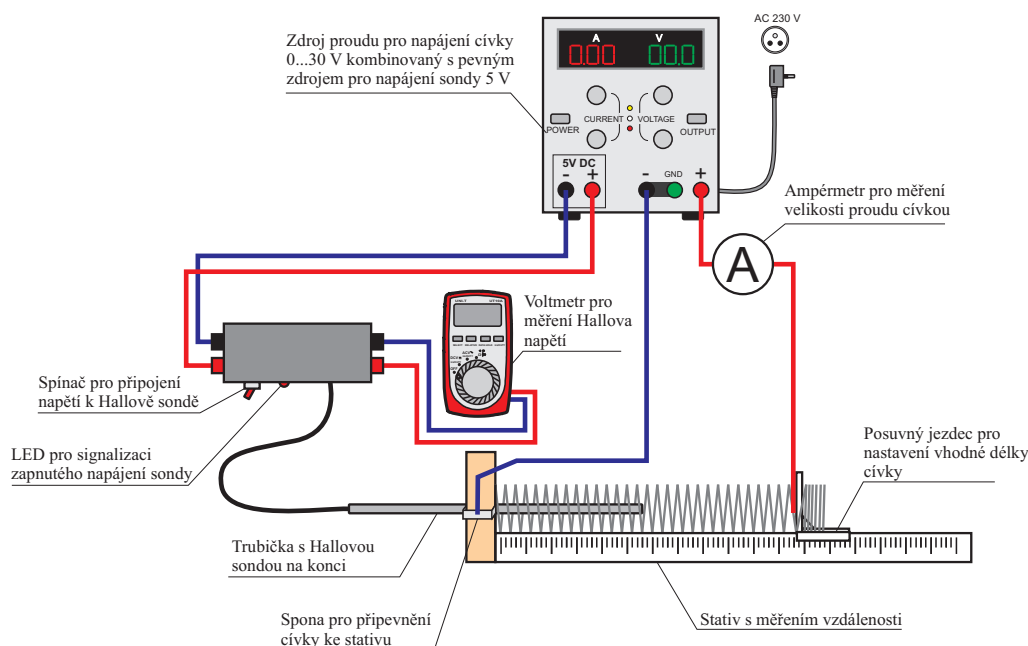
Obrázek 8.24: (vpravo) Pohled na vnitřní zapojení krabičky s rozvody.

sondy do magnetického pole se změni výstupní napětí sondy. Tato změna představuje Hallovo napětí, které je přímo úměrné velikosti hledané magnetické indukce. Výrobce udává (viz [92]), že pro použité sondy (SS495A) je konstanta úměrnosti mezi Halloovým napětím a velikostí magnetické indukce $3,125 \pm 0,125 \text{ mV/G}$. Tento údaj jsem ověřil měřeními a v rámci udávané chyby je správný. Ve výpočtech i materiálech pro studenty je tedy používána hodnota $31,25 \text{ V/T}$. Při konstrukci měřicího zařízení jsem vycházel z článků [93] a [94].

Měření velikosti magnetické indukce pomocí připravené aparatury provádíme v následujících krocích:

1. Sestavíme měřicí obvod.
2. Zapneme napájení sondy.
3. Zapneme připojený voltmetr a stiskneme na něm tlačítko „relative“. Voltmetr bude nadále měřit přírůstky (kladné hodnoty) či úbytky (záporné hodnoty) napětí oproti původnímu výstupnímu napětí sondy.
4. Sondu vložíme do magnetického pole.
5. Z displeje voltmetru odečteme měřenou hodnotu napětí. Pomocí převodního koeficientu vypočítáme velikost magnetické indukce. Znaménko získané hodnoty napětí rozhoduje o směru vektoru magnetické indukce.

Při měření úkolu D je pro studenty připraven klasický teslametr firmy Phywe. Je to především z toho důvodu, že jeho citlivost v porovnání s vytvořeným zařízením



Obrázek 8.25: Schéma zapojení při zkoumání závislosti velikosti magnetické indukce ve středu cívky na velikosti proudu procházejícího cívkou

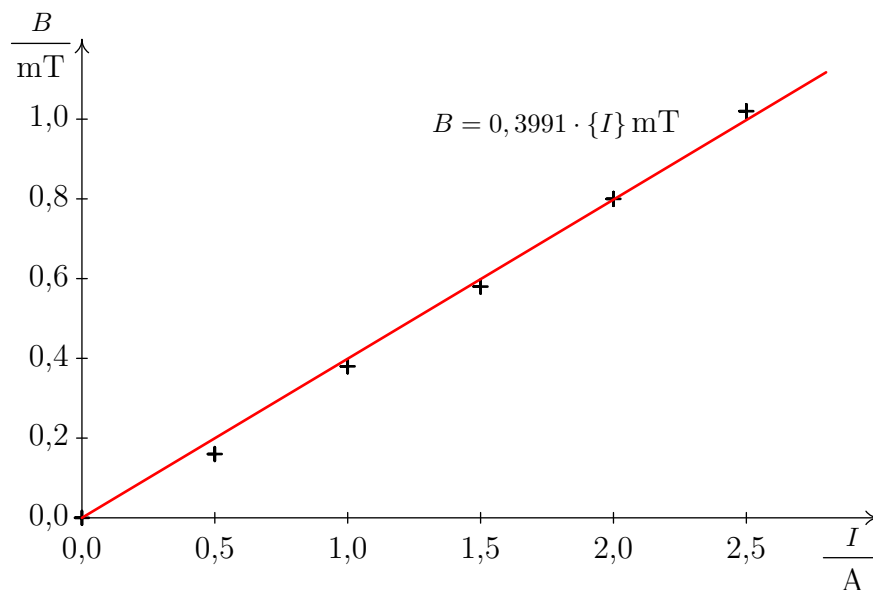
je vyšší a to je především pro zkoumání magnetického pole vně cívky klíčové.

K proměřování magnetického pole v kterémkoliv zde popisovaném experimentu lze rovněž využít teslametru firmy Vernier, který je možné připojit k počítači a zaznamenávat tak data a průběžně je nechat vynášet do grafu. To je výhoda především při použití experimentu jako demonstračního.

Schémat zapojení aparatur pro jednotlivá měření A - D jsou obsaženy v pracovních návodech pro studenty [68]. Zde uvádím pro ukázkou schéma pro proměření úkolu A (obrázek 8.25).

8.5.3 Výsledky měření

Měření, jejichž výsledky jsou popsány níže, byly provedeny podle postupů popsanych v pracovních návodech pro studenty. Dávají tak současně představu o tom, jaké hodnoty studenti při tomto cvičení měří a jsou jakýmsi vzorovým zpracováním daných úkolů.



Obrázek 8.26: Závislost magnetické indukce na velikosti proudu

A. Závislost magnetické indukce na proudu, který prochází cívkou

Z naměřených hodnot vynesných do grafu na obrázku 8.26 potvrdíme přímou úměru mezi proudem protékajícím cívkou a velikostí magnetické indukce cívk⁹, kterou předpovídají rovnice (8.10) i (8.11).

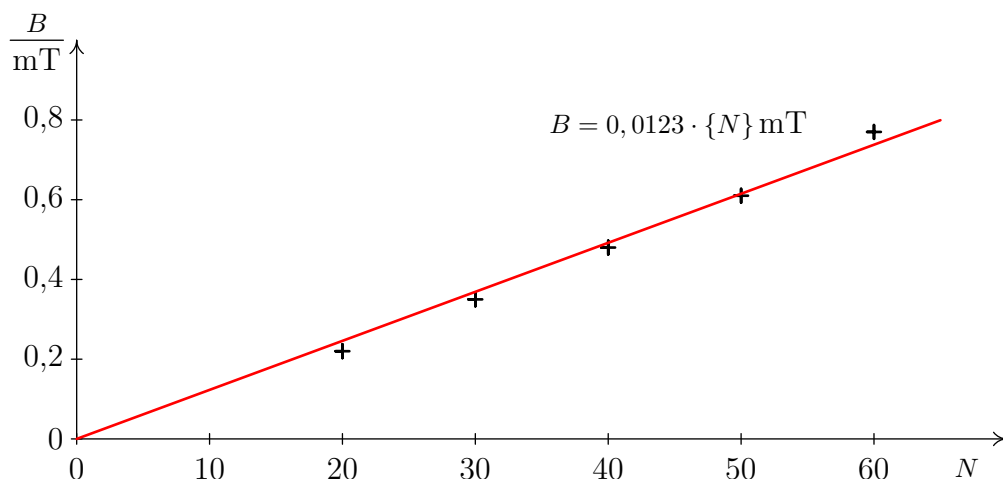
B. Závislost velikosti magnetické indukce na počtu závitů

Z naměřených hodnot vynesných do grafu na obrázku 8.27 potvrdíme přímou úměru mezi velikostí magnetické indukce cívk⁹ ve středu cívk⁹ a počtem jejich závitů, kterou předpovídají rovnice (8.10) i (8.11).

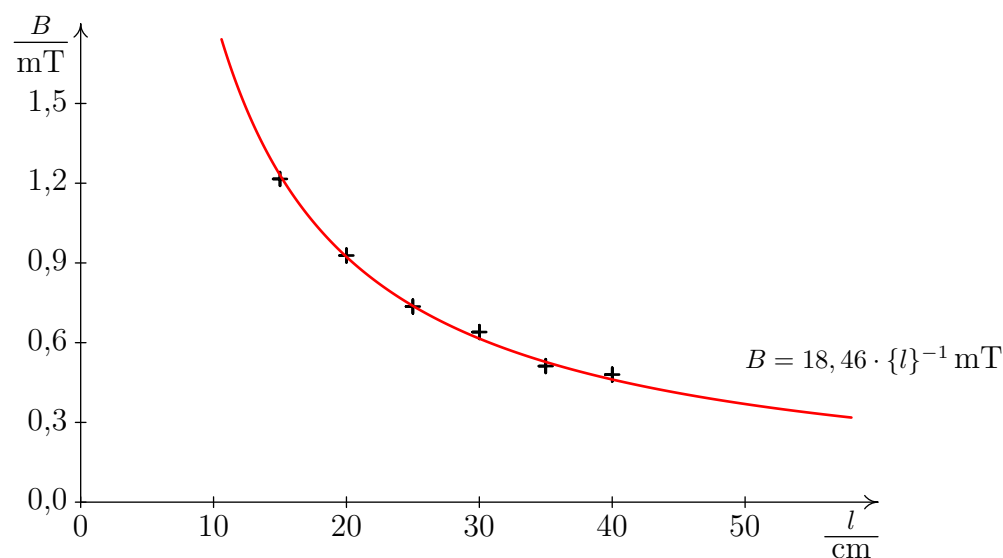
C. Závislost velikosti magnetické indukce na délce cívk⁹

Z naměřených hodnot vynesných do grafu na obrázku 8.28 potvrdíme nepřímou úměru mezi velikostí magnetické indukce cívk⁹ ve středu cívk⁹ a její délkou, kterou předpovídá rovnice (8.10).

⁹Magnetická indukce byla v tomto případě měřena ve středu cívk⁹.



Obrázek 8.27: Závislost magnetické indukce na počtu závitů cívky

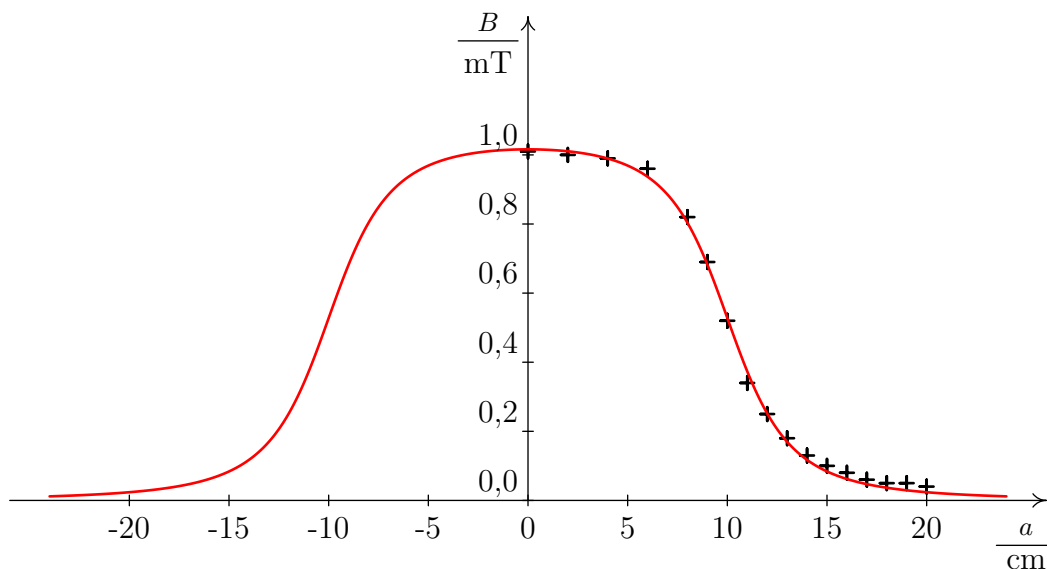


Obrázek 8.28: Závislost magnetické indukce ve středu cívky na její délce

D. Průběh velikosti magnetické indukce na ose cívky

Naměřené hodnoty¹⁰ byly vyneseny do grafu na obrázku 8.29 a byla jimi proložena křivka daná předpisem (8.12). Cívka měla při tomto měření délku 20 cm a 60 závitů. Z grafu je patrné, že naměřené údaje dobře odpovídají teoretické předpovědi. Navíc si při pečlivějším prozkoumání můžeme povšimnout, že byl současně potvrzen další teoretický výsledek, že magnetická indukce na konci cívky má v porovnání s jejím středem poloviční velikost.

¹⁰Z časových důvodů studenti měří průběh magnetické indukce „pouze“ v polovině cívky. Proložena křivka pak napomůže s představou symetrie.



Obrázek 8.29: Průběh velikosti magnetické indukce na ose cívky

8.5.4 Pracovní list

Popsané experimenty jsou součástí tematického programu *Magnetické pole solenoidu* a představují jeho druhou část. Jak již bylo uvedeno v sekci 7.4, tento program je veden podle časového plánu ve variantě C popsané tabulkou 5.17 na straně 60. Každá ze skupinek studentů řeší jeden z těchto experimentů. Jeho řešení jim typicky zabere třicet minut. K těmto experimentům nebyly vytvořeny klasické pracovní listy. Studenti pracují s návodem na pokusy v elektronické podobě. Za tímto účelem jsem sestavil webové stránky [68] s návody na pokusy obsažené v tomto programu. Konkrétní naměřené hodnoty studenti zaznamenávají do připravených tabulek v programech MS Excel či Logger Pro. Tyto tabulky jsou připraveny tak, aby zapsané údaje vynesly do tabulek a proložily jimi křivky očekávaných funkčních předpisů. Na studentech je pak již interpretace získaných a zpracovaných výsledků. Své závěry společně s náčrtky získaných grafů studenti zaznamenávají do připraveného záznamového archu [69], který mají k dispozici v tištěné podobě. Tento záznamový arch obsahuje další doplňující otázky ke všem experimentům.

8.5.5 Shrnutí a zkušenosti

Experimenty navazují na gymnaziální učivo a především v případě úkolu D jej rozšiřují. Studenti si rovněž vyzkouší měření s netradičními pomůckami, procvičí se v odečítání údajů z měřicích přístrojů, jejich zpracování pomocí počítače a inter-

pretaci získaných výsledků. Všichni se seznámí s Hallovou sondou, zájemci pak blíže prozkoumají princip jejího fungování, který je popsán v materiálech pro studenty na webových stránkách [68].

8.6 Kmitání tělesa na pružině

Cílem experimentu je seznámit studenty s popisem oscilátoru méně tradiční formou. Úkolem studenta je z dané pružiny a plastelíny vytvořit oscilátor, který by kmital s periodou co nejblíží 0,8 s.

8.6.1 Teorie

Teorie popisující harmonický oscilátor tvořený tělesem na pružině je běžnou součástí středoškolského kurikula [30].

Perioda T kmitání oscilátoru je ovlivněna hmotností m zavěšeného tělesa, stejně jako tuhostí k dané pružiny. Za předpokladu, že hmotnost pružiny lze oproti hmotnosti závaží zanedbat, platí pro periodu rovnice

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}. \quad (8.16)$$

8.6.2 Aparatura a princip měření

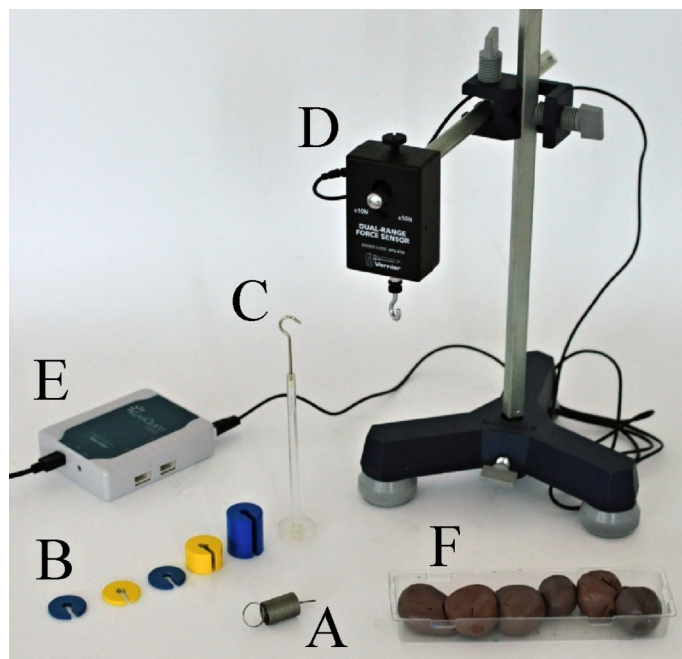
Aparatura (viz obrázek 8.30) sestává ze stativu, několika závaží, plastelíny, pružiny¹¹, siloměru připojeného k počítači pomocí dataloggeru a digitální váhy, která není na obrázku zachycena. Závaží byla vybrána tak, aby nebylo možné jejich kombinací zavěšených na dané pružině vytvořit oscilátor kmitající s hledanou periodou.

Pracovní postup vede studenta k tomu, aby nejprve proměřil, jak závisí perioda kmitání oscilátoru na hmotnosti závaží. Perioda kmitání je určována z časového průběhu síly pružnosti naměřeného pomocí siloměru připojeného k počítači. Student následně vynese naměřené body ručně do grafu (pro zakreslování je k dispozici milimetrový papír) a jimi proloží křivku. Z grafu je pak možné určit hmotnost závaží potřebného pro vytvoření oscilátoru kmitajícího s požadovanou periodou. V poslední fázi student svůj výsledek ověří experimentem - naváží zjištěné množství plastelíny, upevní ji na pružinu, nechá kmitat a určí periodu oscilátoru.

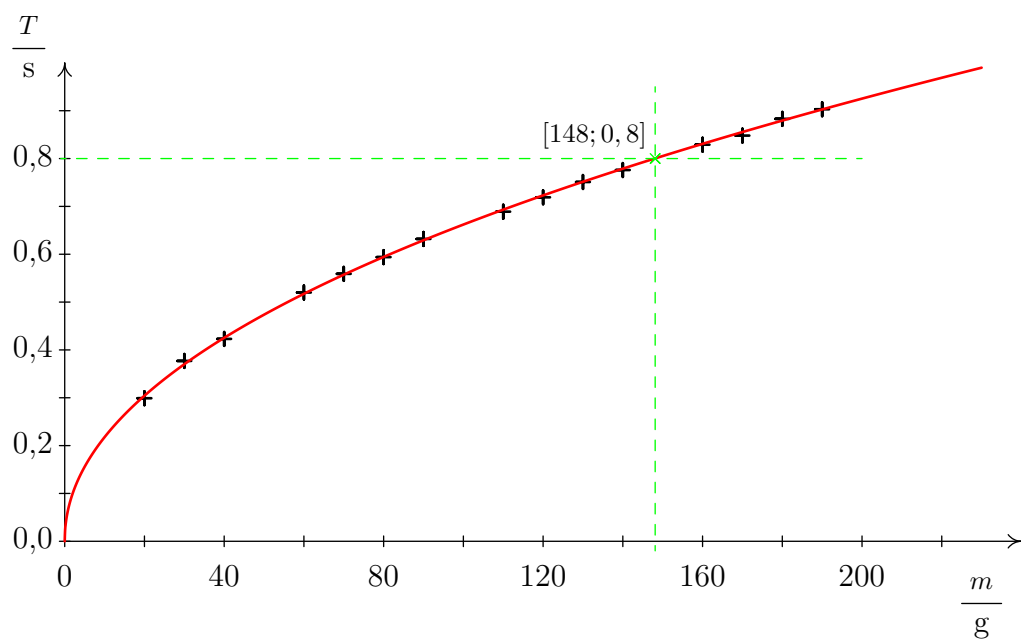
8.6.3 Výsledky měření

Typické výsledky, které mohou studenti získat zachycuje graf na obrázku 8.31. Do grafu jsou vyneseny periody pro všechny možné kombinace hmotností oscilátoru, které mohou s danými závažími (viz obr. 8.30) studenti sestavit. V grafu je rovněž

¹¹Tuhost použité pružiny udávaná výrobcem je 10 N/m. Provedená měření ukazují, že skutečná tuhost je přibližně 9 N/m.



Obrázek 8.30: Aparatura pro zkoumání periody oscilátoru. A ... pružina; B ... sada závaží; C ... háček pro zavěšení závaží; D ... siloměr Vernier upevněný na stativu a připojený k PC (není na obr.) přes datalogger E; F ... plastelína.



Obrázek 8.31: Závislost periody pružinového oscilátoru na jeho hmotnosti.

zachycen bod na křivce proložené naměřenými daty, který odpovídá hledané periodě kmitání. Jeho horizontální souřadnice odpovídá hledané hmotnosti oscilátoru, tj. přibližně 148 g. Jelikož samotný háček pro zavěšení závaží (C na obr. 8.30) váží

10 g, je k sestavení oscilátoru třeba 138 g plastelíny.

8.6.4 Pracovní list

Mojí snahou bylo pojmout aktivitu s pružinovým oscilátorem a tedy i pracovní list (příloha C, str. 297) tak, aby odpovídaly typové variantě „Physics with flavor“ (viz podkapitola 3.2). Studenti tedy nejprve provedou měření, jehož výsledky dále použijí k vyřešení problémové úlohy. Pracovní list obsahuje zadání úlohy, krátký návod na její řešení, tabulku použitelnou pro zápis výsledků, stejně jako milimetrovou mřížku pro zakreslení grafu. Celá aktivita zabere studentům přibližně 20 - 30 minut.

8.6.5 Shrnutí a zkušenosti

I když se jedná o experiment, který není z hlediska potřebných pomůcek nijak náročný, považuji jeho zařazení v IFL do tématu kmitání za velmi důležité. Kmitání na pružině je základem, který by měl být studentům velice dobře znám, přesto jej nepomíjíme. Věřím, že díky netradičnímu postupu je tato aktivita pro studenty zajímavá a neslouží pouze k oživení základních pojmů. Z hlediska praktických dovedností se studenti seznámí s využitím siloměru připojeného k počítači při měření periody, procvičí se v zakreslování hodnot do grafu a prokládání křivky vynesnými body. Aktivita ukazuje studentům i to, že neznámou veličinu není třeba určovat pouze měřením, nebo výpočtem z rovnice. Studenti zjistí, že závislost mezi dvěma veličinami může být popsána i graficky a nalezení tohoto popisu si stejně jako jeho použití při čtení neznámých hodnot vyzkouší.

Část IV

Zpětná vazba

9. Vnitřní motivace studentů

9.1 Úvod

Snahou všech, kteří v IFL pomáhají s vedením jednotlivých cvičení nebo pro IFL připravují praktické aktivity, je, aby studenty práce bavila, byla pro ně zajímavá a užitečná. Se studenty se snažíme pracovat jako s rovnocennými partnery, u kterých nepředpokládáme, že by přicházeli z donucení a snažíme se pro ně být jakýmsi průvodci.

Abychom ověřili, že postupujeme správně a naše předpoklady nejsou mylné, rozhodli jsme se získat od účastníků (studentů) zpětnou vazbu a tím odpovědi na následující klíčové otázky:

- Baví studenty připravené aktivity?
- Považují studenti připravené aktivity za přínosné?
- Chtějí připravené aktivity studenti úspěšně zvládnout, tj. snaží se?
- Nevytváříme na studenty příliš velký tlak?

Současně s tím nás zajímalo, zda se budou výsledky lišit pro různé skupiny studentů (gymnazisté a studenti jiných typů středních škol, dívky a chlapci, ...).

Na základě našich zkušeností z lekcí, které do té doby v IFL proběhly, jsme očekávali, že výsledky dotazníku budou celkově pozitivní. Na druhou stranu je třeba počítat s tím, že do IFL přichází většinou studenti běžných tříd, tedy i studenti, u nichž fyzika není tím nejoblíbenějším předmětem.

Nicméně jsme předpokládali, že studenti se vyjádří tak, že je aktivity bavily, byly pro ně užitečné a tudíž jim věnovali patřičné úsilí. Z atmosféry, která panovala při předchozích cvičeních, jsme rovněž předpokládali, že se studenti necítí pod enormním tlakem. Při jednotlivých cvičeních a projevech studentů jsme nepozorovali rozdíly, které by byly ovlivněny tím, zda se jedná o studenty gymnázií případně jiných středních škol, či zda se jedná o dívky, nebo chlapce.

9.2 Metodologie

Pro získání zpětné vazby od studentů byl sestaven dotazník vnitřní motivace. Naším požadavkům velmi dobře vyhovoval ověřený nástroj, v zahraničí označovaný zkrat-

kou IMI (Intrinsic Motivation Inventory). Tento nástroj byl upraven pro účely IFL a zjištění odpovědí na výše uvedené otázky.

9.2.1 IMI - Intrinsic Motivation Inventory

IMI představuje vícerozměrný nástroj určený k posouzení subjektivní zkušenosti respondenta s činností při laboratorních experimentech. Tento nástroj byl použit již při mnoha výzkumech týkajících se vnitřní motivace a samoregulace (přehled těchto výzkumů uvádí [95]). Validitu tohoto nástroje potvrdili ve své studii McAuley, Duncan a Tammen [96].

Nástroj IMI posuzuje vnitřní motivaci pomocí několika dílčích škál (tzv. subškál):

- zájem / potěšení (*interest / enjoyment*),
- vnímanou kompetenci (*perceived competence*),
- úsilí / důležitost (*effort / importance*),
- pocíťovaný tlak a tenzi (*pressure/tension*),
- hodnotu / užitečnost (*value/usefulness*),
- vnímanou možnost volby (*perceived choice*).

V nedávné době byla zavedena sedmá subškála, která zachycuje zkušenosti sociálních vztahů (*relatedness*), nicméně validita této subškály ještě musí být potvrzena.

Každou ze subškál tvoří několik položek, které se do jisté míry překrývají. Dosavadní výzkumy naznačují, že vliv pořadí položek v dotazníku se jeví jako zanedbatelný a zařazení či nezařazení konkrétních subškál podle všeho nijak neovlivňuje další subškály, jak uvádí [95]. Je tak možné vytvořit vlastní dotazník na míru pro danou aktivitu.

Kompletní nástroj obsahuje 45 položek rozřazených do 7 subškál, přičemž 16 z těchto položek je tzv. reverzních, tj. můžeme říci, že skóre v této položce by mělo být ideálně přesně „opačné“¹ vůči jiné položce ve stejné subškále. Každá položka představuje tvrzení, u něhož má respondent označit, do jaké míry je z jeho pohledu pravdivé. Toto se děje na škále 1 až 7, kde 1 znamená zcela nepravdivý výrok, 4 odpovídá do jisté míry pravdivému a ve stejné míře nepravdivému výroku a 7 naprosto pravdivému tvrzení.

¹Poněvadž respondenti hodnotí jednotlivá tvrzení na škále 1 až 7, „opačným“ skóre k hodnotě s_R rozumíme $8 - s_R$. Tj. pokud u reverzní položky respondent označí např. skóre 2, bude to jako by u ostatních položek označil skóre 6.

9.2.2 Úprava dotazníku pro IFL

Pro získání odpovědí na položené otázky vyhovují čtyři subškály, které jsme se rozhodli do našeho dotazníku zařadit:

1. zájem / potěšení,
2. úsilí / důležitost,
3. tlak / tenze,
4. hodnota / užitečnost.

Z daných faktorů tedy byly vzaty příslušné položky a náhodně uspořádány do dotazníku. Soupis všech položek dotazníku uspořádaných podle vybraných subškál je v tabulce 9.1. Plná verze použitého dotazníku je v příloze v části D.2, elektronická verze v příloze E.3 na CD. Kromě označování pravdivosti jednotlivých tvrzení respondenti v dotazníku dále vyplňovali, jaké téma absolvovali, věk, pohlaví, jaký typ střední školy navštěvují. Tyto údaje pak mohly být použity k podrobnějšímu rozboru získaných výsledků a lepší představě o zkoumané skupině. V závěru bylo přidáno místo pro případné vzkazy a komentáře libovolného typu.

Otázky na než jsme při získávání zpětné vazby od studentů hledali odpovědi tedy souvisí s jednotlivými subškálami a skóre v nich. Z hlediska použité metody je tedy možné i naše předpoklady vyjádřit číselně - viz tabulka 9.2.

Tabulka 9.1: Položky dotazníku vnitřní motivace pro IFL seřazené podle subškál, do kterých náleží. První sloupec (č.) udává pořadí položky v dotazníku, třetí sloupec (R) označuje, zda se jedná o reverzní položku.

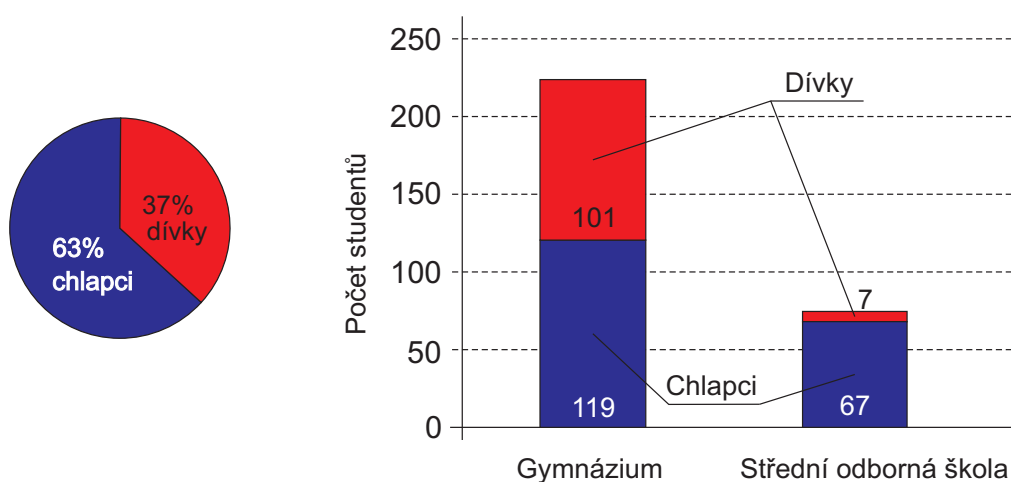
č.	Text položky	R
Zájem / potěšení		
1	Tato činnost mi připadala docela zábavná.	R
5	Tato činnost se mi velmi líbila.	
11	Tato činnost byla zábavná.	
15	Tato činnost mi připadala nudná.	
18	Tuto činnost bych popsal/a jako velmi zajímavou.	
21	Tato činnost mě vůbec nezaujala.	R
22	Když jsem tuto činnost vykonával/a, říkal/a jsem si, že mě opravdu baví.	
Úsilí / důležitost		
2	Věnoval/a jsem tomu hodně úsilí.	R
6	U této činnosti jsem se moc nesnažil/a uspět.	
12	U této činnosti jsem se opravdu velmi snažil/a.	
19	V tomto úkolu pro mě bylo důležité uspět.	R
23	Nevěnoval/a jsem tomu moc energie.	
Tlak / tenze		
3	U této činnosti jsem se cítil/a pod tlakem.	R
7	U této činnosti jsem nebyl/a vůbec nervózní.	
9	U této činnosti jsem se cítil/a velmi napjatý/á.	R
13	U této činnosti jsem se cítil/a velmi uvolněně.	
16	Při práci na tomto úkolu jsem cítil/a úzkost.	
Hodnota / užitečnost		
4	Myslím si, že vykonávání této činnosti je užitečné pro pochopení látky probírané ve škole.	
8	Myslím si, že tato činnost by pro mě mohla mít nějakou hodnotu.	
10	Myslím si, že tato činnost je důležitá.	
14	Myslím si, že je užitečné tuto činnost dělat, protože může vést k lepšímu vhledu do fyzikálních problémů.	
17	Byl bych ochotný/Byla bych ochotná tuto činnost dělat znovu, protože pro mě má určitou hodnotu.	
20	Myslím si, že vykonávání této činnosti by mi mohlo pomoci při dalším studiu fyziky.	
24	Myslím si, že vykonávání této činnosti by mi mohlo prospět.	

Tabulka 9.2: Předpokládané výsledky v jednotlivých subškálách.

Subškála	1. Zájem / potěšení	2. Úsilí / důležitost	3. Tlak / tenze	4. Hodnota / užitečnost
předpokládané průměrné skóre	> 4	> 4	< 4	> 4

9.3 Výsledky

Šetření bylo provedeno výhradně na studentech, kteří před tím absolvovali některý z programů nabízených v IFL v letech 2012 až 2014. Celkový počet respondentů byl 294, z toho 186 chlapců a 108 dívek (obrázek 9.1). Z celkového počtu bylo 220 studentů gymnázia, zbývajících 74 pak navštěvovalo jiný typ střední školy (obrázek 9.2). Průzkumu se zúčastnili studenti ve věku 15 až 20 let. Počet respondentů v jednotlivých věkových kategoriích ukazuje graf na obrázku 9.3. Z něj je jasné patrné, že hlavní část tvořili studenti ve věku 17 a 18 let. Dotazníky byly studentům administrovány v tištěné podobě ještě v IFL ihned po ukončení naplánovaných aktivit.

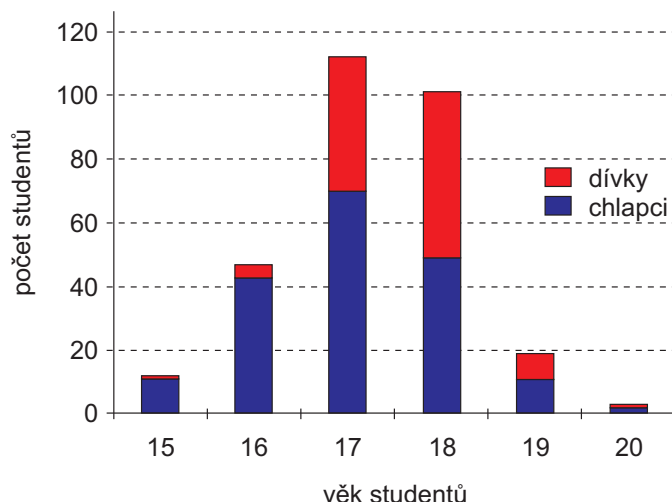


Obrázek 9.1: (vlevo) Procentuální zastoupení chlapců a dívek ve vzorku studentů, kteří vyplnili dotazník vnitřní motivace.

Obrázek 9.2: (vpravo) Zastoupení studentů z gymnázií a jiných typů středních škol.

U každé subškály bylo zjišťováno, zda spolu jednotlivé položky dané subškály korelují. Mezi přímými a reverzní otázkami očekáváme záporný korelační koeficient. Pro jednodušší výpočet byly pro další zpracování výsledky reverzních položek přepočítány tak, aby mohly být porovnávány a průměrovány s ostatními položkami.² U každé ze subškál byla pro každého respondenta určena průměrná hodnota jeho skóre. Takto získané hodnoty byly vyneseny do četnostního grafu a bylo z nich vypočítáno celkové průměrné skóre dané subškály a směrodatná odchylka. Navíc byla průměrná hodnota a směrodatná odchylka určena i u každé z položek. U získaných průměrných hodnot pro respondenty v dané subškále i skóre jednotlivých

²Jelikož bylo možné u každé reverzní položky udělit skóre 1 - 7, kde pro 1 odpovídá skóre 7 pro přímé tvrzení, bylo skóre přepočítáno jako $s = 8 - s_R$, kde s_R odpovídá původní hodnotě reverzní položky a s přepočítané.



Obrázek 9.3: Počet studentů v jednotlivých věkových kategoriích včetně rozložení dívek a chlapců.

položek bylo pomocí Shapirova-Wilkova testu [97] zjišťováno, zda splňují normální rozdělení. Tato skutečnost nebyla u získaných dat potvrzena. Z toho důvodu bylo při zpracování dat využíváno Wilcoxonova testu střední hodnoty pro jeden výběr³ (Wilcoxon signed-rank test) [97], [98], případně Wilcoxonova testu pro dva nezávislé výběry⁴ (Wilcoxon rank-sum test) [97], [98]. Data byla zpracována ve statistickém systému **R** [99]. Zjištěné výsledky jsou sepsány a rozebrány níže.

9.3.1 Zájem / potěšení

Vzájemné korelace jednotlivých položek této subškály zachycuje tabulka 9.3. Průměrné hodnoty včetně směrodatných odchylek⁵ jsou zachyceny v grafu na obrázku 9.4. Graf na obrázku 9.5 zachycuje celkové rozložení četností průměrných skóre jednotlivých respondentů této subškály. Výsledné skóre této kategorie dotazníku činí $5,41 \pm 1,21$, medián je přibližně 5,71. Jednovýběrovým Wilcoxonovým testem bylo zjištěno, že medián v této subškále je na hladině významnosti 0,05 větší než 5,40.

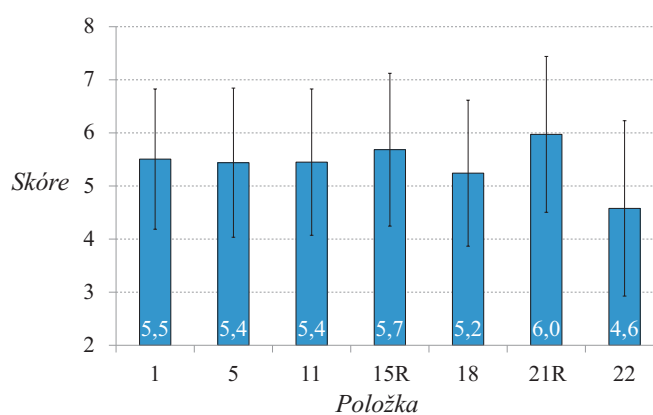
³Tento test je testem o mediánu. Nulová hypotéza předpokládá, že medián daného výběru je roven předpokládanému mediánu.

⁴Tento test porovnává rozdělení sledované proměnné v obou výběrech. Nulová hypotéza předpokládá, že rozdělení sledované proměnné v obou skupinách jsou totožné.

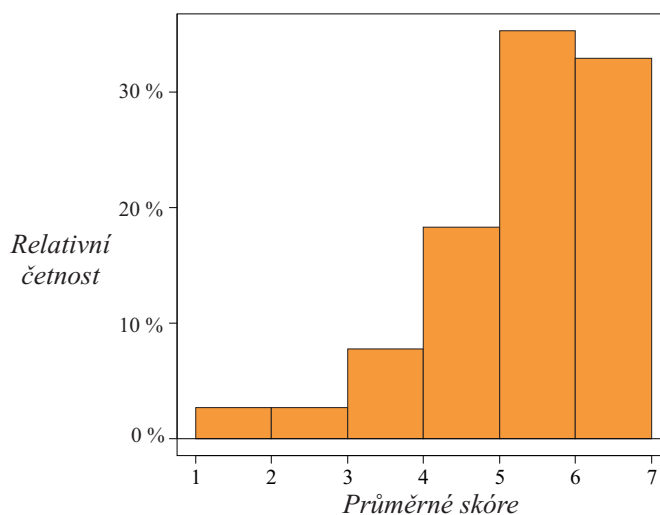
⁵Tabulka průměrných se směrodatnými odchylkami je v příloze na CD.

Tabulka 9.3: Korelační tabulka (Pearsonův korelační koeficient) pro subškálu zájem/potěšení, tj. pro položky 1, 5, 11, 15, 18, 21, 22 dotazníku. Položky 15 a 21 byly reverzní. Všechny korelace jsou statisticky významné na hladině 0,05.

	1	5	11	15R	18	21R	22
1	1,00	0,76	0,81	-0,68	0,63	-0,61	0,50
5	0,76	1,00	0,79	-0,65	0,69	-0,63	0,58
11	0,81	0,79	1,00	-0,70	0,76	-0,65	0,63
15R	-0,68	-0,65	-0,70	1,00	-0,67	0,72	-0,58
18	0,63	0,69	0,76	-0,67	1,00	-0,67	0,67
21R	-0,61	-0,63	-0,65	0,72	-0,67	1,00	-0,59
22	0,51	0,58	0,63	-0,58	0,67	-0,59	1,00



Obrázek 9.4: Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky jednotlivých položek první subškály zájem / potěšení. Reverzní položky byly přepočítány na přímé.



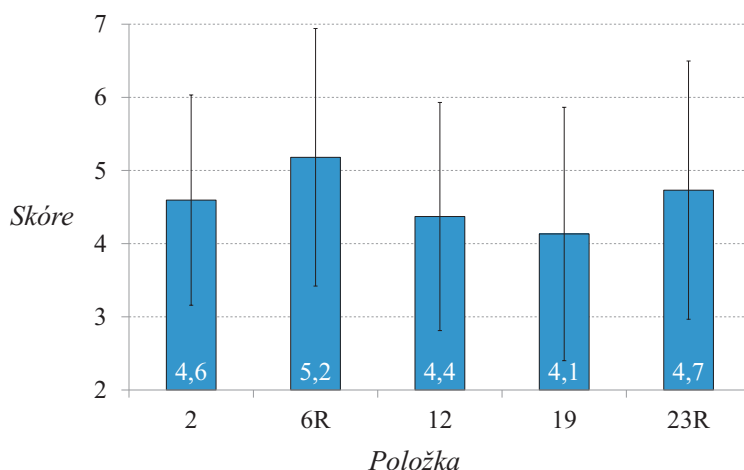
Obrázek 9.5: Relativní četnost průměrných skóre u jednotlivých respondentů první subškály zájem / potěšení.

9.3.2 Úsilí / důležitost

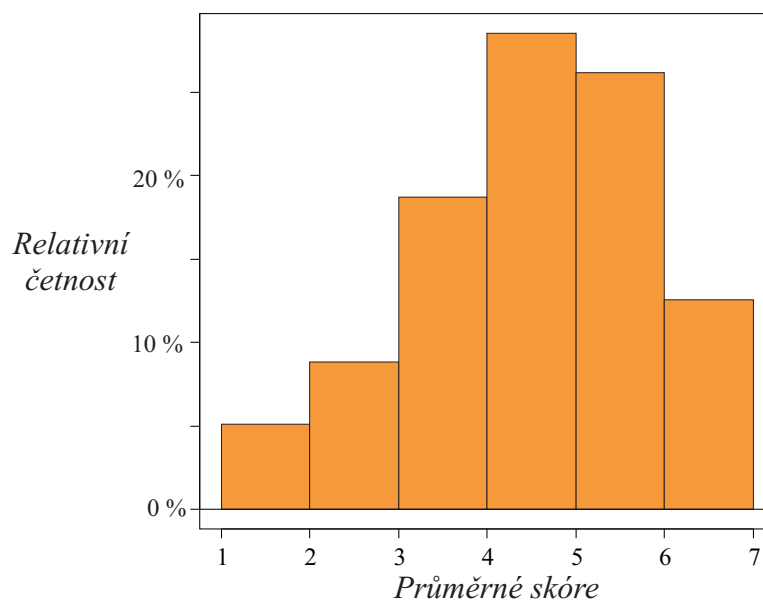
Vzájemné korelace jednotlivých položek této subškály zachycuje tabulka 9.4. Průměrné hodnoty včetně směrodatných odchylek jsou zachyceny v grafu na obrázku 9.6. Graf na obrázku 9.7 zachycuje celkové rozložení četností průměrných skóre jednotlivých respondentů této subškály. Výsledné skóre této kategorie dotazníku činí $4,60 \pm 1,30$, medián je přibližně 4,80. Jednovýběrovým Wilcoxonovým testem bylo zjištěno, že medián skóre v této subškále je na hladině významnosti 0,05 větší než 4,50.

Tabulka 9.4: Korelační tabulka (Pearsonův korelační koeficient) pro subškálu úsilí / důležitost, tj. pro položky 2, 6, 12, 19 a 23 dotazníku. Položky 6 a 23 byly reverzní. Všechny korelace jsou statisticky významné na hladině 0,05.

	2	6R	12	19	23R
2	1,00	-0,45	0,67	0,48	-0,48
6R	-0,45	1,00	-0,50	-0,49	0,51
12	0,67	-0,50	1,00	0,66	-0,58
19	0,48	-0,49	0,66	1,00	-0,43
23R	-0,48	0,51	-0,58	-0,43	1,00



Obrázek 9.6: Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky jednotlivých položek druhé subškály úsilí / důležitost. Reverzní položky byly přepočítány na přímé.



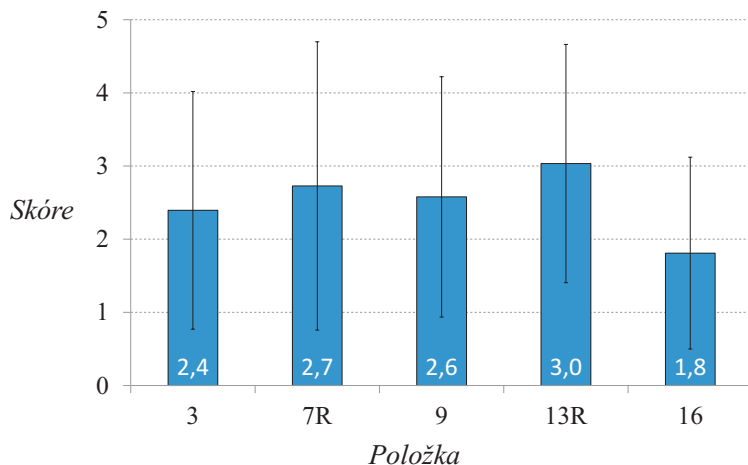
Obrázek 9.7: Relativní četnost průměrných skóre u jednotlivých respondentů druhé subškály úsilí / důležitost.

9.3.3 Tlak / tenze

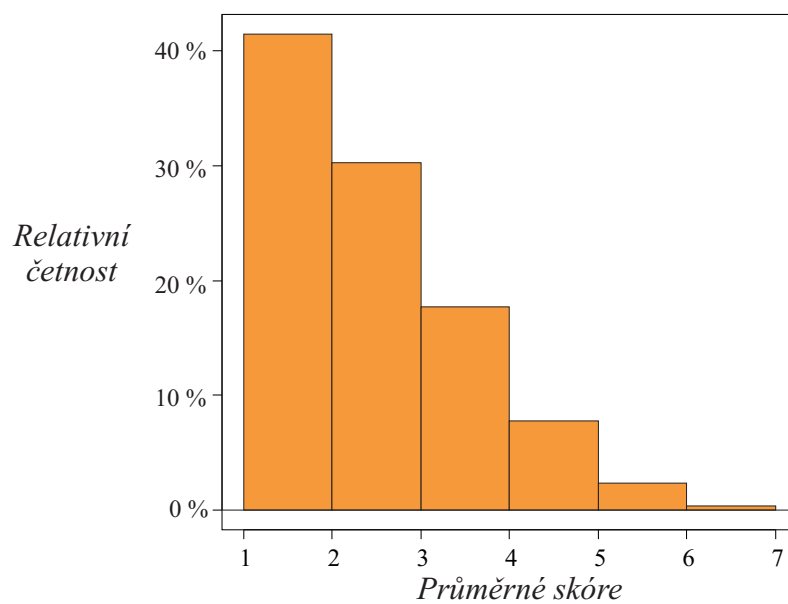
Vzájemné korelace jednotlivých položek této subškály zachycuje tabulka 9.5. Průměrné hodnoty včetně směrodatných odchylek jsou zachyceny v grafu na obrázku 9.8. Graf na obrázku 9.9 zachycuje celkové rozložení četností průměrných skóre jednotlivých respondentů této subškály. Výsledné skóre této kategorie dotazníku činí $2,51 \pm 1,17$, medián je 2,30. Jednovýběrovým Wilcoxonovým testem bylo zjištěno, že medián skóre v této subškále je na hladině významnosti 0,05 menší než 2,55.

Tabulka 9.5: Korelační tabulka (Pearsonův korelační koeficient) pro subškálu tlak a tenze, tj. pro položky 3, 7, 9, 13, 16 dotazníku. Položky 7 a 13 byly reverzní. Všechny korelace jsou statisticky významné na hladině 0,05.

	3	7R	9	13R	16
3	1,00	-0,35	0,40	-0,35	0,53
7R	-0,35	1,00	-0,31	0,34	-0,41
9	0,40	-0,31	1,00	-0,33	0,51
13R	-0,35	0,34	-0,33	1,00	-0,41
16	0,53	-0,41	0,51	-0,41	1,00



Obrázek 9.8: Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky jednotlivých položek třetí subškály tlak / tenze. Reverzní položky byly přepočítány na přímé.



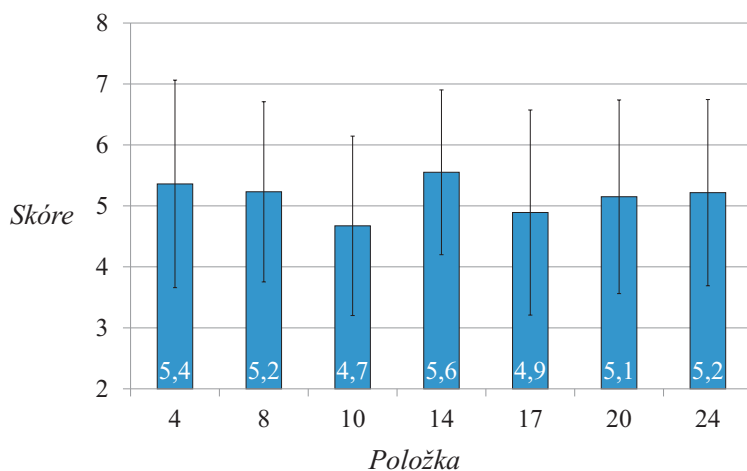
Obrázek 9.9: Relativní četnost průměrných skóre u jednotlivých respondentů třetí subškály tlak / tenze.

9.3.4 Hodnota / užitečnost

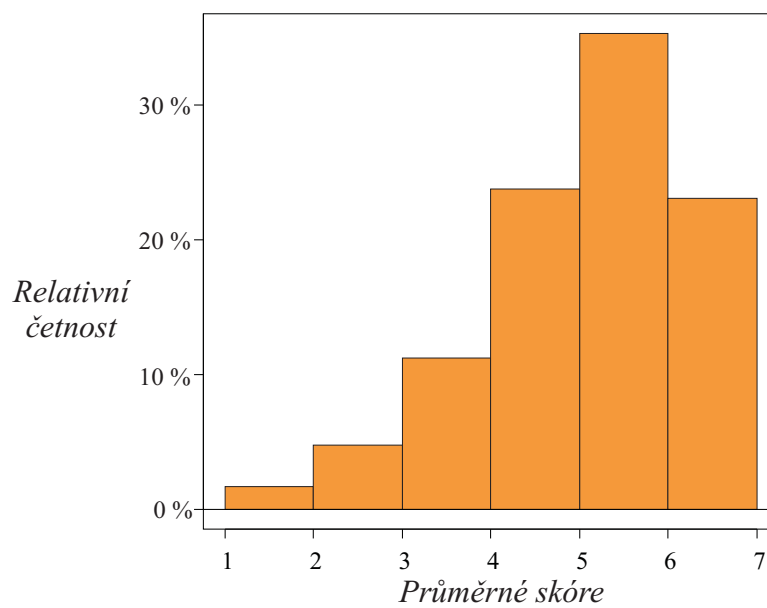
Vzájemné korelace jednotlivých položek této subškály zachycuje tabulka 9.6. Průměrné hodnoty včetně směrodatných odchylek jsou zachyceny v grafu na obrázku 9.10. Graf na obrázku 9.11 zachycuje celkové rozložení četností průměrných skóre jednotlivých respondentů této subškály. Výsledné skóre této kategorie dotazníku činí $5,15 \pm 1,19$, medián je přibližně 5,29. Jednovýběrovým Wilcoxonovým testem bylo zjištěno, že medián skóre v této subškále je na hladině významnosti 0,05 větší než 5,10.

Tabulka 9.6: Korelační tabulka (Pearsonův korelační koeficient) pro subškálu hodnota a užitečnost, tj. pro položky 4, 8, 10, 14, 17, 20 a 24 dotazníku. Žádné položky nebyly reverzní. Všechny korelace jsou statisticky významné na hladině 0,05.

	4	8	10	14	17	20	24
4	1,00	0,47	0,50	0,52	0,33	0,54	0,46
8	0,47	1,00	0,61	0,57	0,61	0,53	0,61
10	0,50	0,61	1,00	0,54	0,56	0,49	0,56
14	0,52	0,57	0,54	1,00	0,51	0,59	0,55
17	0,33	0,61	0,56	0,51	1,00	0,48	0,59
20	0,54	0,53	0,49	0,59	0,48	1,00	0,63
24	0,46	0,61	0,56	0,55	0,59	0,63	1,00



Obrázek 9.10: Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky jednotlivých položek čtvrté subškály hodnota / užitečnost. Reverzní položky byly přepočítány na přímé.



Obrázek 9.11: Relativní četnost průměrných skóre u jednotlivých respondentů čtvrté subškály hodnota / užitečnost.

9.3.5 Souhrn výsledků

Výsledky na jednotlivých subškálách shrnuje tabulka 9.7.

Tabulka 9.7: Průměrné hodnoty, směrodatné odchylky a mediány jednotlivých subškál

Subškála	Průměrné skóre	Směrodatná odchylka	Medián
1. Zájem / potěšení	5,41	1,21	5,71
2. Úsilí / důležitost	4,60	1,30	4,80
3. Tlak / tenze	2,51	1,17	2,30
4. Hodnota / užitečnost	5,15	1,19	5,29

9.3.6 Porovnání různých kategorií studentů

Byť se při srovnávání subškál, případně jednotlivých položek dotazníku pro různé kategorie studentů za pomoci dvouvýběrového Wilcoxonova testu ukázalo, že mezi nimi existují rozdíly, které jsou na hladině 0,05 statisticky významné, nejsou tyto rozdíly příliš velké. Všechny odchylky průměrných hodnot porovnávaných výběrů jsou menší než 0,8 a nepřekračují tedy ani jeden stupeň zvolené sedmibodové hodnotící škály, kterou měli studenti k dispozici. Zjištěné odchylky tedy představují spíše náznaky rozdílů ve vnímané zkušenosti u jednotlivých kategorií studentů. Tyto odchylky jsou rozebrány níže.

Dívky versus chlapci

Tabulka 9.8: Porovnání průměrných skóre a mediánů v jednotlivých subškálách pro chlapce a dívky.

Subškála	Průměrné skóre / Medián			
	1. Zájem, potěšení	2. Úsilí, důležitost	3. Tlak, tenze	4. Hodnota, užitečnost
Dívky	5,31 / 5,57	4,66 / 4,80	2,38 / 2,20	5,12 / 5,29
Chlapci	5,47 / 5,71	4,57 / 4,80	2,58 / 2,40	5,17 / 5,43

Pro dívky a chlapce jsou výsledky mírně odlišné. Mediány skóre pro chlapce a dívky v jednotlivých subškálách udává tabulka 9.8. Při jejich porovnávání však oboustranný dvouvýběrový Wilcoxonův test ukázal, že se na hladině významnosti 0,05 neliší.

Tabulka 9.9: Položky se statisticky významnými rozdíly (na hladině 0,05) mezi dívkami a chlapci.

Položka	Průměrné skóre / Medián	
	Dívky	Chlapci
8. Myslím si, že tato činnost by pro mě mohla mít nějakou hodnotu.	5,02 / 5,0	5,35 / 6,0
9. U této činnosti jsem se cítil/a velmi napjatý/á.	2,15 / 1,5	2,83 / 3,0
21. (R) Tato činnost mě vůbec nezaujala.	2,20 / 1,5	1,92 / 1,0
24. Myslím, že vykonávání této činnosti by mi mohlo prospět.	5,03 / 5,0	5,33 / 6,0

Statisticky významný rozdíl (na hladině 0,05) mezi chlapci a dívkami byl zjištěn pouze u položek 21 (subškála zájem a potěšení), 9 (subškála tlak / tenze), 8 a 24 (subškála hodnota / užitečnost). Mediány a průměrné hodnoty skóre pro dívky a chlapce u těchto položek udává tabulka 9.9. Položka 21 naznačuje, že chlapci byli přece jen více zaujati aktivitami v IFL, naproti tomu položka 9 ukazuje, že v jistém aspektu pociťovaného tlaku / tenze se chlapci cítí být více napjatými. Z 8. a 24. položky vyplývá, že chlapci přece jen pociťují mírně větší hodnotu / užitečnost aktivit, jak již naznačila tabulka 9.8.

Gymnázium versus střední odborná škola

Mediány skóre v jednotlivých subškálách, jak byly získány od studentů gymnázií a zbývajících středních škol (především technického zaměření), se statisticky významně (na hladině významnosti 0,05) liší ve třetí subškále tlak / tenze. Přehled průměrných skóre a mediánů v jednotlivých subškálách udává tabulka 9.10. Ukazuje se, že studenti jiných typů středních škol se cítí být pod mírně větším tlakem než jejich kolegové z gymnázií.

Tabulka 9.10: Porovnání průměrných skóre a mediánů v jednotlivých subškálách pro studenty gymnázií a ostatních středních škol.

Subškála	Průměrné skóre / Medián			
	1. Zájem, potěšení	2. Úsilí, důležitost	3. Tlak, tenze	4. Hodnota, užitečnost
Gymnázium	5,39 / 5,57	4,50 / 4,60	2,41 / 2,20	5,15 / 5,29
Jiné SŠ	5,48 / 5,86	4,90 / 5,00	2,79 / 2,60	5,15 / 5,43

Tabulka 9.11: Položky se statisticky významnými rozdíly (na $p = 0,05$) mezi studenty gymnázií a jiných středních škol.

Položka	Průměrné skóre / Medián	
	Gymnázia	Jiné SŠ
2. Věnoval/a jsem tomu hodně úsilí.	4,46 / 4,0	5,00 / 5,0
9. U této činnosti jsem se cítil/a velmi napjatý/á.	2,40 / 2,0	3,12 / 3,0

Při porovnávání jednotlivých položek dojdeme k tomu, že statisticky významný rozdíl (na hladině významnosti 0,05) mezi studenty gymnázií a jiných středních škol nastal u položek 2 (subškála úsilí / důležitost) a 9 (subškála tlak / tenze). Průměrná skóre a mediány u těchto položek pro obě skupiny studentů udává tabulka 9.11. Podle těchto dílčích položek se gymnazisté cítili být méně pod tlakem / v tenzi. To odpovídá i celkovým výsledkům této subškály. Výsledky rovněž naznačují, že studenti jiných typů škol než gymnázií se ocenili tak, že věnují daným aktivitám více úsilí.

Na tomto místě je důležité upozornit na to, že mezi studenty z jiných středních škol než gymnázií, převažovali v drtivé většině chlapci. Může tak být zajímavé porovnat průměrná skóre i skóre v jednotlivých položkách u chlapců a dívek z gymnázií, stejně jako chlapců z gymnázií a proti tomu jiných typů středních škol.

Chlapci a dívky navštěvující gymnázium

Při porovnávání průměrných skóre dívek a chlapců z gymnázií nenarazíme (tabulka 9.12) na statisticky významné rozdíly (na hladině 0,05). Až při dílčím zkoumání jednotlivých položek objevíme jisté rozdíly. Konkrétně mezi položkami 2, 12, 23 (úsilí / užitečnost) a 8 (hodnota / užitečnost). Porovnání průměrných skóre těchto položek udává tabulka 9.13, ze které vyplývá, že dívky se oproti svým spolužákům více snaží, resp. pociťují to tak. Chlapci však přikládají v jedné z položek daným aktivitám větší hodnotu.

Tabulka 9.12: Porovnání průměrných skóre a mediánů v jednotlivých subškálách pro chlapce a dívky studující na gymnáziu.

Subškála	Průměrné skóre / Medián			
	1. Zájem, potěšení	2. Úsilí, důležitost	3. Tlak, tenze	4. Hodnota, užitečnost
Dívky	5,33 / 5,57	4,68 / 4,80	2,41 / 2,20	5,13 / 5,29
Chlapci	5,44 / 5,57	4,35 / 4,60	2,42 / 2,20	5,17 / 5,43

Tabulka 9.13: Položky se statisticky významnými rozdíly (na hladině 0,05) mezi dívkami a chlapci navštěvujícími gymnázia.

Položka	Průměrné skóre / Medián	
	Dívky	Chlapci
2. Věnoval/a jsem tomu hodně úsilí.	4,68 / 5,0	4,27 / 4,0
8. Myslím si, že tato činnost by pro mě mohla mít nějakou hodnotu.	4,99 / 5,0	5,38 / 6,0
12. U této činnosti jsem se opravdu velmi snažil/a.	4,55 / 5,0	4,04 / 4,0
23. (R) Nevěnoval/a jsem tomu moc energie.	2,97 / 2,0	3,66 / 4,0

Chlapci z gymnázií a středních škol

Při porovnávání dat získaných od chlapců z různých typů škol narazíme na statisticky významné rozdíly (na hladině 0,05) ve druhé (úsilí / užitečnost) a třetí (tlak / tenze) subškále (viz tabulka 9.14). Je patrné, že chlapci z jiných typů SŠ než gymnázií vkládají do daných aktivit větší úsilí, na druhou stranu se pak cítí být pod větším tlakem. Toto potvrzuje i pohled na porovnání jednotlivých položek, mezi kterými se podařilo pro tyto dvě skupiny studentů nalézt statisticky významné rozdíly (viz tabulka 9.15).

Zjištěný rozdíl mezi chlapci z gymnázií a jiných typů SŠ v subškále tlak/tenze se následně projevuje i při porovnávání gymnazistů a studentů jiných SŠ. Naproti tomu v subškále úsilí / důležitost pomáhají chlapcům z gymnázií „dorovnat ztrátu“ jejich spolužačky (viz tabulky 9.10 a 9.12).

Tabulka 9.14: Porovnání průměrných skóre a mediánů v jednotlivých subškálách pro chlapce z gymnázií a jiných typů středních škol.

Subškála	Průměrné skóre / Medián			
	1. Zájem, potěšení	2. Úsilí, důležitost	3. Tlak, tenze	4. Hodnota, užitečnost
Gymnázium	5,44 / 5,57	4,35 / 4,60	2,42 / 2,20	5,17 / 5,43
Jiné SŠ	5,52 / 5,86	4,94 / 5,00	2,87 / 2,80	5,18 / 5,43

Tabulka 9.15: Položky se statisticky významnými rozdíly (na hladině 0,05) mezi chlapci navštěvujícími gymnázia a jiné typy středních škol.

Položka	Průměrné skóre / Medián	
	Gymnázium	Jiné SŠ
2. Věnoval/a jsem tomu hodně úsilí.	4,27 / 4,0	5,03 / 5,0
12. U této činnosti jsem se opravdu velmi snažil/a.	4,04 / 4,0	4,67 / 5,0
13. (R) U této činnosti jsem se cítil/a velmi uvolněně.	5,10 / 6,0	4,70 / 5,0

9.4 Shrnutí

Z tabulek 9.3, 9.4, 9.5 a 9.6 porovnávajících jednotlivé položky v rámci jednotlivých subškál je patrné, že tyto položky korelují. Jednotlivé otázky jsou tedy zvoleny vhodně - vzájemně si odpovídají. Z toho lze zřejmě usuzovat, že studenti odpovídali konzistentně, tj. nikoliv náhodně. Navíc ani rozdíly mezi různými kategoriemi studentů (dívky vs. chlapci, gymnazisté vs. studenti jiných středních škol, ...) nebyly příliš velké. Pokud se objevují při porovnávání průměrných skóre subškál, či jednotlivých položek statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými kategoriemi studentů, jsou všechny výrazně menší než 0,8 a nejedná se tedy o rozdíly dosahující ani jednoho stupně zvolené hodnotící škály. Jedná se tedy spíše o náznaky rozdílů mezi jednotlivými kategoriemi studentů a výsledky se tak zdají být i v tomto ohledu celkově konzistentní.

Výsledky dotazníku (viz tabulka 9.7) potvrdily předpoklad, že studenty budou jednotlivé aktivity bavit. Současně se ukázalo, že studenti dle svého názoru vyvíjí nadprůměrnou i když ne tu nejvyšší aktivitu při plnění zadaných praktických úkolů. Studenti rovněž nepociťovali, že by na ně byl vyvíjen přílišný tlak. Současně nás může těšit, že studenti považují jednotlivé aktivity za užitečné.

Veskrze pozitivní výsledky mohou být způsobeny i jistým výběrovým efektem,

který je dán tím, že studenti přicházející do IFL nejsou náhodným vzorkem studentů středních škol v ČR. Do IFL je přivádí učitelé, kteří mají o dané aktivity zájem. Tento zřejmý fakt však není v daném případě na škodu, neboť se jedná o aktivity, které jsou určeny právě těm učitelům a studentům, kteří o ně mají zájem.

Z pohledu fungování Interaktivní fyzikální laboratoře jsou výsledky tohoto dotazníkového šetření důležité především z toho důvodu, že nám dávají jasný signál v tom, že se „ubíráme správným směrem“, tj. že způsob, jakým jsou připravovány aktivity pro studenty a jakým probíhají, je v zásadě správný a je tak možné v něm pokračovat, navazovat na něj a dále jej rozvíjet.

10. Zpětná vazba od učitelů

10.1 Úvod

V červnu 2014 proběhlo drobné dotazníkové šetření s cílem získat zpětnou vazbu od učitelů, kteří se svými studenty navštívili IFL v uplynulém školním roce 2013/2014. Jako hlavní cíle dotazníku jsem stanovil

1. ohodnocení výběru experimentů (aktivit), jejich inovativnosti, začlenění do kurikula střední školy a zpracování;
2. ohodnocení komunikace při objednávání lekcí a práce týmu IFL při samotné lekci;
3. získání základní představy, jak učitelé dále pracují se studenty v souvislosti s jejich návštěvou v IFL;
4. dát učitelům prostor vyjádřit se k fungování IFL a případně přidat návrhy na zlepšení jejího fungování.

Celkem bylo osloveno 15 středoškolských pedagogů, kteří svoje studenty v daném školním roce přivedli do IFL, resp. tyto návštěvy domlouvali.

Na základě pozitivních zkušeností z lekcí, které ve školním roce 2013/2014 v IFL proběhly a na základě snahy mé i dalších autorů jednotlivých aktivit, jsem předpokládal, že

1. učitelé budou jednotlivé aktivity hodnotit kladně a některé aktivity pro ně budou nové, neboť snahou autorů bylo rovněž inspirovat učitele a dát jim náměty na vlastní experimentování ve škole;
2. naše práce bude hodnocena pozitivně;
3. většina učitelů se k práci studentů v IFL v některé z následujících hodin vrátí, i když studenti za ni nejsou většinou hodnoceni a nezpracovávají žádný protokol o měření;
4. učitelé přijdou s návrhy, které experimenty, resp. celé tematické celky by v IFL rádi viděli.

10.2 Metodologie

Pro sběr dat byla zvolena forma webového dotazníku, který je dle mého názoru praktičtější jak pro zadavatele dotazníku, tak pro samotného respondenta. Od respondentů nevyžaduje tvorbu dokumentů ani jejich následné odesílání pomocí elektronické či klasické pošty a zadavatel získá všechna data přímo uložená v tabulce, se kterou může následně pracovat.

Dotazník je stále umístěn na webové adrese http://kdf.mff.cuni.cz/ifl/dotaznik_ucitel/, jeho tištěná verze je k nahlédnutí v příloze (strana 310).

10.3 Výsledky

Z tohoto celkového počtu patnácti oslovených pedagogů se vrátilo třináct vyplněných dotazníků. To, jaká témata se svými studenty navštívili, zachycuje tabulka¹ 10.1. Při tom sedm z nich absolvovalo pouze jediné téma, čtyři z nich byli na dvou a dva na čtyřech tématech.

Tabulka 10.1: Přehled témat, která učitelé, jež vyplnili dotazník, se svými studenty navštívili.

Téma	Počet
Mechanika - rotační pohyb	5
Mechanické kmitání a mechanika tuhého tělesa	4
Termodynamika	7
Elektrostatika	6
Optika	1

10.3.1 Hodnocení aktivit

Učitelé mohli ohodnotit výběr experimentů a kvalitu pracovních listů na škále 1 až 5, kde jedna odpovídá nejlepšímu výsledku.

Výběr experimentů byl hodnocen ve dvanácti případech známkou 1, v jednom případě známkou 2. Kvalita zpracování byla hodnocena všemi pedagogy známkou 1.

Učitelé byli dále požádáni, aby se pokusili ohodnotit pravdivost výroků souvisejících se zpracovanými aktivitami. Pravdivost měli ohodnotit opět na škále 1 až 5, přičemž jedna označuje naprosto pravdivý výrok a pět úplně nepravdivý.

¹Téma optika bylo zařazeno několikrát v předchozím školním roce 2012/2013. Ve školním roce 2013/2014 zařazeno nebylo.

Přehled jednotlivých výroků a obdržených hodnocení shrnuje tabulka 10.2. Každý z uvedených výroků bylo možné okomentovat. Všechny komentáře udává soupis na přiloženém CD (příloha E.2).

Tabulka 10.2: Hodnocení výroků týkajících se aktivit a příslušných pracovních listů. Tabulka udává počet jednotlivých hodnocení, které daný výrok obdržel. Hodnocením 1 učitel vyjádřil svůj absolutní souhlas s tímto výrokem, při hodnocení 5 svůj úplný nesouhlas.

Výrok	Hodnocení					Průměrné skóre
	1	2	3	4	5	
1. Aktivity, kterými studenti prošli, pro ně byly zajímavé.	11	1	1	0	0	1,2
2. Aktivity, kterými studenti v IFL prošli, jim pomohly upevnit si znalosti získané ve škole.	11	1	1	0	0	1,2
3. Aktivity, kterými studenti v IFL prošli, jim pomohly upevnit si dovednosti získané ve škole.	10	2	1	0	0	1,3
4. Díky aktivitám, kterými studenti v IFL prošli, studenti získali nové znalosti.	10	2	1	0	0	1,3
5. Díky aktivitám, kterými studenti v IFL prošli, studenti získali nové dovednosti.	13	0	0	0	0	1,0
6. Aktivity v IFL jdou nad rámec učiva střední školy.	3	3	3	3	0	2,3
7. Všechny experimenty, které jsem v IFL viděl/a, jsem již znal/a.	3	3	4	2	1	2,6
8. Některé experimenty pro mne osobně byly nové.	8	3	1	0	1	1,7

10.3.2 Komunikace a práce týmu IFL

K hodnocení komunikace při domlouvání návštěvy IFL a práce pomocníků byly v dotazníku připraveny tři položky. Učitelé mohli jednotlivé položky opět oznámkovat na škále 1 - 5, kde jedna označuje nejlepší hodnocení. Výsledky v jednotlivých položkách shrnuje tabulka 10.3.

Tabulka 10.3: Hodnocení komunikace a práce pomocníků v IFL.

Položka	Hodnocení					Průměrné skóre
	1	2	3	4	5	
Komunikace při dojednávání návštěvy v IFL.	12	1	0	0	0	1,1
Přístup pomocníků, kteří se studentům v IFL věnovali.	11	2	0	0	0	1,2
Připravenost pomocníků.	12	1	0	0	0	1,1

10.3.3 Návaznost na lekci v IFL

Pro získání základní představy o tom, zda a jak učitelé dále navazují na lekci v IFL, byly zařazeny tři uzavřené otázky a byl dán prostor pro rozepsání komentáře.

Odpovědi na první dvě položky k tomuto tématu shrnuje tabulka 10.4, odpovědi na třetí položku tabulka 10.5.

Tabulka 10.4: Tabulka udávající počet učitelů, kteří se v hodinách k návštěvě IFL vrátili, a počet učitelů, kteří své studenty za práci v IFL hodnotili.

Otázka	ANO	NE
Vrátili jste se nějakým způsobem v rámci výuky ve škole k aktivitám, které studenti v IFL absolvovali?	12	1
Byli studenti za práci v IFL nějak hodnoceni?	6	7

Čtyři učitelé uvedli, že studenti zpracovávali jiný výstup než pracovní list, či laboratorní protokol. Tři z nich také svůj postup blíže okomentovali:

- „*Studenti prezentovali pokusy a závěry před třídou.*“
- „*Vrátila jsem se k pokusům s brčky–byly šestákům, kteří si zvolili tento obor nejbližší. . . . Dle svých schopností alespoň trochu popisovali. A jak jsem uvedla, využila i jedna žákyně k předvedení svého pokusu při prezentaci své práce.*“
- „*Studenti prezentovali spolužákům své postřehy.*“

Tabulka 10.5: Tabulka shrnující zda a případně jaké výstupy studenti na základě lekce v IFL zpracovávali.

Otázka: „Zpracovávali studenti na základě měření nějaký výstup, který odevzdávali Vám ke kontrole?“	
Odpověď	Počet
ANO, odevzdali vyplněný pracovní list, který získali v IFL.	4
ANO, odevzdali jimi vytvořený laboratorní protokol.	1
ANO, jiná varianta.	4
NE.	4

10.3.4 Další informace získané od učitelů

Jedním z nejdůležitějších ukazatelů úspěšnosti nějaké akce je, zda se na ni chtějí lidé vracet. Z toho důvodu byla otázka tohoto typu položena i učitelům a to opět ve formě tvrzení „*V následujícím školním roce bych chtěl/a vzít studenty do IFL znovu.*“, které měli ohodnotit na škále jedna až pět, kde jedna značí absolutní souhlas a pět stejně ostrý nesouhlas. U této otázky dvanáct z třinácti učitelů vybralo možnost 1 a jeden možnost 5. Tento učitel však doplnil svoje hodnocení komentářem „*Stydím se za studenty. Dal jsem výpověď. Já odcházím, je mi 50 a jsem zvyklý na určitý standard. ... Děkuji. Bylo to moc super. Bohužel mám pocit, že pouze pro mne. Kdyby jste mne kontaktovali na adrese ...² rádi přijedeme. ...³*“

Na závěr dotazníku měli učitelé možnost přidat libovolný komentář k fungování laboratoře, či napsat nějaký vzkaz. Zde uvádím vzkazy, které se sešly.

- „*Moc se nám u vás líbilo. Těšíme se na další spolupráci.*“
- „*Rádi se dále zúčastníme.*“
- „*Osobně považuji možnost návštěvy interaktivní laboratoře za vynikající. a to nejen pro žáky - práce v jiném, dokonce vysokoškolském prostředí, ne přednáška, ale vlastní pokusy, práce, hodiny didakticky propracované, požadavek na prezentaci bádání, ale také pro mne - např. shlédnutí práce ve skupinách, jejího vedení, náměty na pokusy, pokusy s kondenzátory, o kterých jsem si četla a tady je viděla, zpracované pracovní listy. V neposlední řadě i příjemné na psychiku. Zároveň děkuji za vstřícnost při objednávání hodin v laboratoři.*“
- „*Je dobré zapojit pomocníky, žáci se nebojí zeptat, nebo projevit svou neznalost.*“
- „*Pokusy z termodynamiky jsem navštívila se studenty kvarty osmiletého studia, pokusy byly přizpůsobeny věku studentů. Velká spokojenost. Děkujeme.*“

10.4 Shrnutí

Domnívám se, že počet vyplněných dotazníků, tedy třináct z patnácti, lze považovat za úspěch.

Na základě výsledků v jedné z otázek (tabulka 10.2) můžeme říci, že se nám podařilo vybrat aktivity, které učitelé považují pro studenty za zajímavé, přínosné

²Adresa základní školy - nové působiště učitele.

³V dalším textu pan učitel kritizuje studenty gymnázia, ze kterého odešel.

pro upevnění dříve nabytých i získání nových znalostí a dovedností. Hodnocení učitelů rovněž napovídá (tabulka 10.2), že některé (ne však všechny) aktivity jdou nad rámec učiva střední školy. Může nás těšit i to, že učitelé pociťují, že některé experimenty pro ně byly nové a dosud je neznali (tabulka 10.2). Domnívám se, že se nám tím podařilo naplnit i jedno z očekávání učitelů, které vzešlo z dotazníkového šetření mezi učiteli ještě před spuštěním plného provozu IFL na jaře roku 2009, tj. že od IFL očekávají nejen experimenty s drahými přístroji, ale rovněž dobré nápady, inovace a to jak z hlediska konkrétních námětů na pokusy, tak z hlediska metodiky praktické práce (viz část 5.1.7).

V hodnocení pracovníků IFL se naplnilo moje očekávání a byli jsme hodnoceni pozitivně a to jak při dojednávání návštěv, tak při vedení samotného programu v laboratoři (tabulka 10.3).

Výsledky ukazují (tabulka 10.4), že téměř všichni učitelé se podle předpokladu k aktivitám svých studentů v IFL ve škole v rámci výuky vrátili. Přibližně v polovině případů byli studenti za práci v IFL nějakým způsobem hodnoceni. Téměř třetina studentů ve škole odevzdávala vyplněné pracovní listy, které získali v IFL, a přibližně třetina studentů prezentovala své zkušenosti spolužákům.

Proti očekávání v poslední otázce (část 10.3.4) ti, kteří odpověděli, pouze zhodnotili fungování laboratoře a své zkušenosti, ale bohužel již nepřidali žádné návrhy, v čem bychom mohli laboratoř posunout dál.

Celkově považuji výsledky zpětné vazby od učitelů za pozitivní. Ani jeden z učitelů, kteří odpověděli, nebyl zklamaný a převažovalo výborné hodnocení všech zkoumaných atributů aktivit v laboratoři. Domnívám se, že zafungovala i zvolená forma provedení průzkumu, což lze podložit zmíněným faktem, že dotazník vyplnilo třináct z patnácti oslovených pedagogů. V dalších letech můžeme používat stejný formulář, pouze v otázce navštíveného tématu bude nutné přidat v budoucnu vzniklé programy, jelikož věřím, že jejich počet se bude navyšovat.

Závěr

Praktická práce napomáhá ve fyzikálním vzdělávání naplňovat mnoho významných cílů. Mezi ty patří osvojení znalostí a konceptů, zvládnutí praktických dovedností, získávání vhledu do vědeckých metod, rozvoj vědeckých postojů. Slouží rovněž jako zpestření běžných hodin výuky a prostředek motivace studentů. To, do jaké míry bude praktická práce při naplňování těchto cílů efektivní, závisí z velké části na učiteli. Učitele, kteří mají zájem praktickou práci do výuky začleňovat, má smysl při jejich snaze podporovat. Jednou z cest může být nabídka praktických cvičení konaných mimo školu. Přípravou takové nabídky v rámci tzv. Interaktivní fyzikální laboratoře (IFL) na MFF UK v Praze se zabývala tato disertační práce.

Hlavním cílem disertační práce bylo vytvořit, ověřit a uvést do praxe praktická cvičení pro středoškolské studenty, která by se konala v rámci Interaktivní fyzikální laboratoře. K naplnění hlavního cíle bylo nutné vytipovat vhodné experimenty a upravit je pro potřeby IFL, tyto experimenty bylo nutné ověřit v praxi a dle odezvy dále upravit. Mezi další cíle patřilo zjistit, zda mají středoškolští učitelé zájem o to, docházet na praktická cvičení do IFL a stanovit koncepci laboratoře - tj. na jaké experimenty by měla být zaměřena, jakým způsobem by měli studenti pracovat, jak by měla vypadat struktura návštěvy/exkurze studentů v laboratoři, atd. Při řešení této otázky jsem se opřel především o názory učitelů, ale i zkušenosti ze zahraničí. Mezi cíle práce patřilo rovněž zjistit, jaký vliv mají tato praktická cvičení na studenty a to především z hlediska jejich vnitřní motivace, a jak na vybrané aktivity reagují. Jedním z cílů bylo také získat zpětnou vazbu od učitelů, kteří laboratoř se svými studenty navštívili. Z hlediska autora se podařilo výše uvedené cíle splnit. Jejich naplnění konkrétně popisuje text disertační práce, který je členěn do čtyř hlavních částí.

První část shrnuje některé poznatky dostupné literatury v oblasti praktické práce jako jedné z výukových metod. Jsou rozebrány její cíle i efektivita při naplňování těchto cílů. Jedním z důležitých zjištění, která přinášejí mnohé výzkumy, je, že při získávání znalostí a konceptů nebývá praktická práce efektivnější než ostatní výukové metody. Velký vliv na efektivitu práce má zvolený typ praktické práce stejně jako to, do jaké míry se podaří propojit manuální a myšlenkovou činnost studenta. Za tímto účelem by aktivity samotné i průvodce aktivitou měli od studentů vyžadovat nejen popis pozorovaného jevu, ale rovněž jeho interpretaci. Toho se snažíme při práci se studenty v IFL držet - pracovníci v průběhu cvičení se stu-

denty záměrně diskutují a „nutí“ je o zkoumaných jevech přemýšlet z různých úhlů pohledu. Přemýšlet o daných problémech rovněž pomáhá způsob zvolené práce. Jednou z možností, která našla v IFL uplatnění, je postupovat při praktické aktivitě cestou vytváření hypotéz, diskuzí mezi studenty, následného ověření předpokladů a interpretace získaných výsledků.

Druhá část se věnuje koncepci Interaktivní fyzikální laboratoře, přičemž staví na příkladech ze zahraničí a názorech českých učitelů. Hlavním vzorem IFL byl švédský House of Science. Inspiraci jsme hledali i u ženevského PhysiScope a českých science center. Některé prvky se podařilo začlenit⁴, některé budou implementovány postupně v budoucnu⁵.

Při zjišťování zájmu o praktická cvičení bylo v dubnu 2009 s prosbou o vyplnění dotazníku osloveno více než 150 pražských učitelů fyziky. Působení o spolupráci při tomto šetření byla umístěna i na portálu Fyzweb. Dotazník vyplnilo celkem 42 respondentů. Ze získaných údajů vyplynul velký zájem učitelů o praktická cvičení, která by se konala na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy v Praze v tehdy nově vzniklé Interaktivní fyzikální laboratoři. Součástí průzkumu byly i otázky zjišťující názory na to, jak by měla taková laboratoř prakticky fungovat. Na základě zde získaných výsledků a vnitřní diskuzi na Katedře didaktiky fyziky MFF UK v Praze byla stanovena původní koncepce, která se postupem času rozvíjela do současné podoby. Před samotnou návštěvou si učitel může na webových stránkách IFL prohlédnout popisy experimentů a materiály pro studenty, následně si zvolí téma a termín, ve kterém chce se studenty IFL navštívit. Rezervace se provádí prostřednictvím elektronické pošty. Návštěva trvá 120 minut a je určena pro skupinku maximálně 16 studentů, kteří jsou rozděleni zpravidla do čtyř skupin. V průběhu práce studenti vyplňují předpřipravené materiály (pracovní listy, případně záznamové archy). Většina z šesti tematických programů, které v současnosti IFL nabízí, sestává z kratších aktivit (experimentů). Studenti jich tedy během vymezené doby stihnou více. Zpravidla se nestává, že by všechny čtyři skupiny studentů stihly projít všemi aktivitami. Na konec programu jsou zařazeny miniprezentace, ve kterých studenti spolužákům referují o svých výsledcích a zkušenostech.

Třetí část popisuje tematické programy a některé z aktivit, které pro IFL

⁴Např.: Při přihlašování se snažíme učitelům dávat co největší možnost volby termínu a tématu, který chtějí se svými studenty navštívit. Popis a zadání aktivit distribuujeme do škol ještě před samotným cvičením tak, aby se mohli studenti na návštěvu v IFL snáze připravit. Snažíme se zařazovat raději více kratších aktivit na místo dlouhých pozorování.

⁵Např.: Zařadit aktivity zaměřené na zpracování a interpretaci údajů naměřených při skutečných vědeckých pozorováních. Zapojit do programu prvky show.

připravil autor této disertační práce. V jejím rámci vznikly pro IFL čtyři tematické programy (Elektrostatika⁶, Rotační pohyb, Mechanika tuhého tělesa a mechanické kmitání, Magnetické pole solenoidu). V každém z těchto tematických programů jsou pro studenty připravena čtyři rozdílná stanoviště, na kterých buď setrvávají po celou dobu praktické části měření⁷, nebo se v průběhu cvičení na stanovištích střídají. Pro každé z těchto stanovišť byly připraveny materiály pro studenty (návodů na experimenty ve formě tištěného či elektronického pracovního listu, případně záznamové archy). Na každém ze stanovišť je pro studenty připraveno více spolu souvisejících aktivit. Celkově bylo v rámci této disertační práce pro použití v IFL připraveno více než 45 dílčích aktivit. Některé z pokusů, které tvoří tyto aktivity, jsou popsány v samotném textu práce. Popis zbývajících je umístěn do příloh. Většina experimentů připravených v rámci této práce byla prezentována na odborných pedagogických konferencích v České republice nebo v zahraničí a byla popsána v jejich sbornících.

Čtvrtá část představuje dva drobné výzkumy provedené v rámci této disertační práce. Ty zjišťovaly zpětnou vazbu jednak od studentů, jednak od učitelů.

U studentů se šetření zaměřilo na průzkum jejich subjektivní zkušenosti s činnostmi při laboratorních experimentech v IFL. Při průzkumu byl použit nástroj Intrinsic Motivation Inventory (IMI), který byl pro účely IFL upraven. Cílem šetření bylo získat odpovědi především na čtyři klíčové otázky: 1) Baví studenty připravené aktivity? 2) Považují studenti připravené aktivity za přínosné? 3) Chtějí studenti připravené aktivity úspěšně zvládnout, tj. snaží se? 4) Není na studenty vyvíjen příliš velký tlak? Pozitivní zkušenosti autora této práce i zbývajících pracovníků IFL naznačovaly, že ve všech těchto otázkách by měly být odpovědi z pohledu IFL pozitivní. To se také v rámci šetření, které se uskutečnilo v letech 2012 až 2014 a zúčastnilo se jej 294 studentů, potvrdilo. Ukázalo se, že studenty připravené aktivity baví. Studenti dle svého názoru rovněž vyvíjí nadprůměrnou, i když ne tu nejvyšší aktivitu. Studenti také nepociťovali, že by na ně byl při aktivitách v IFL vyvíjen příliš velký tlak. Současně nás může těšit, že aktivity, kterými prošli, považují za užitečné.

Učitelé, kteří se svými studenty ve školním roce 2013/2014 navštívili IFL, byli v červnu 2014 požádáni o vyplnění krátkého dotazníku, který by poodhalil jejich spokojenost s IFL a naznačil, jak se studenty v souvislosti s návštěvou IFL dále pracují. Z celkem patnácti oslovených pedagogů dotazník vyplnilo třináct. Výsledky na-

⁶Autor této práce připravil polovinu aktivit v tomto tematickém programu. Autorem zbývajících částí je doc. Leoš Dvořák.

⁷Tak je tomu u tematického programu Elektrostatika.

značují, že učitelé považují připravené aktivity pro své studenty za přínosné. Některé z aktivit jsou dle jejich názoru nad rámec učiva střední školy. Může nás rovněž těšit, že i pro samotné učitele byly některé experimenty nové. Velmi pozitivně byla učiteli hodnocena i práce pracovníků IFL při dojednávání cvičení i v jejím průběhu. Téměř všichni učitelé se ke cvičení v IFL ve škole vrátili a přibližně polovina učitelů studenty za práci v IFL hodnotila.

Celkově můžeme výsledky zpětné vazby získávané od studentů i učitelů považovat za velmi pozitivní. Je třeba přiznat, že takto příznivá odezva může být způsobena výběrovým efektem. Ti učitelé, kteří o praktická cvičení nemají z různých důvodů zájem, je nevyužijí a tudíž se jejich názor nemohl projevit při získávání zpětné vazby. Nicméně je důležité zdůraznit, že aktivity, které IFL školám nabízí nejsou povinné a jsou určeny těm, kteří o ně projeví zájem. Pro IFL je pak velmi důležité, jak je hodnocena právě těmi lidmi, kteří ji využívají, nebo by ji chtěli využívat. Nás může těšit, že zpětná vazba od těchto učitelů a jejich studentů, je pozitivní. Známkou spokojenosti s prací IFL je rovněž navštěvovanost a obsazenost nabízených termínů⁸. V letech 2013-2016 se počet skupin, které za školní rok IFL navštíví ustálil a pohybuje se okolo 38.

Výhled do budoucna

Interaktivní fyzikální laboratoř se od doby svého vzniku v roce 2008 etablovala jako nedílná součást nabízené podpory Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity v Praze směrem ke středním školám. IFL se bude i nadále vyvíjet. V budoucnu jistě přibudou další tematické programy, současné se pravděpodobně promění a budou postupně uzpůsobovány aktuálním požadavkům fyzikálního vzdělávání. Nezbytnou součástí IFL budou i v budoucnu lidé, kteří jednotlivá cvičení povedou, případně budou připravovat nové aktivity pro středoškoláky. Ideálními kandidáty na tyto pozice jsou studenti učitelství fyziky na MFF UK v Praze. Kontakt se středoškoláky při cvičeních v IFL jim dává možnost získávání další tolik potřebné praxe. Přitáhnout studenty MFF UK v Praze k IFL a k praktickým metodám výuky je i cílem semináře *Praktické cvičení ve výuce fyziky*, který ve školním roce 2015/2016 zažil svůj první úspěšný běh. Tento seminář společně s nabídkou pracovat v rámci IFL na bakalářských a diplomových prací do jisté míry přispějí k tomu, že IFL nebude mít

⁸Ze záznamů o návštěvách v IFL vyplývá, že od ledna 2012, kdy začala IFL oficiálně nabízet učitelům praktická cvičení, do května 2016 navštívilo IFL více než 1500 návštěvníků (studentů). Ve skutečnosti bude toto číslo nižší, neboť někteří studenti navštívili několik různých tematických programů. I to je ovšem pozitivní jev, který vítáme. Svědčí o tom, že učitelů jsou s prací IFL spokojeni a vracejí se.

nouzi o vedoucí praktických cvičení.

První roky fungování Interaktivní fyzikální laboratoře ukázaly, že se jedná o životaschopný projekt, který si již nyní našel mezi učiteli své stálé návštěvníky. Věřím, že tak to mu bude i v budoucnu a IFL bude nadále přispívat nejen k rozvoji fyzikálních znalostí a dovedností, ale i ke zvyšování zájmu o fyziku a obecně o vědu mezi českými středoškolskými studenty.

Literatura

- [1] SVOBODA, Emanuel a Gerhard HÖFER. Názory a postoje žáků k výuce fyziky. *Matematika, fyzika, informatika : časopis pro výuku na základních a středních školách*. Praha: Prometheus, 2006, **16**(4), 212-223.
- [2] PÖSCHL, Radko. *Vnímání významu matematiky a fyziky středoškolskými studenty*. Praha, 2005. Dostupné také z:
http://kdf.mff.cuni.cz/vyzkum/materialy/vnimani_vyznamu_M_a_F.pdf.
Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze, Matematicko-fyzikální fakulta, Katedra didaktiky fyziky. Vedoucí práce Martin Chvál.
- [3] DVOŘÁK, Leoš a kol.: *Lze učit fyziku zajímavěji a lépe? Příručka pro učitele*. 1. vyd. Praha: Matfyzpress, 2008. ISBN 978-80-7378-057-9. Dostupné také z:
<https://kdf.mff.cuni.cz/vyzkum/NPVII/PriruckaProUcitele.pdf>
- [4] SVOBODA, Emanuel a Růžena KOLÁŘOVÁ. *Didaktika fyziky základní a střední školy: vybrané kapitoly*. 1. vyd. Praha: Karolinum, 2006. ISBN 80-246-1181-3.
- [5] Getting practical: A framework for practical science in schools. SCORE. SCORE [online]. London: DCSF, 2009 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z:
http://www.score-education.org/downloads/practical_work/framework.pdf
- [6] Sbírka řešených úloh [online]. Praha, 2015 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z:
<http://reseneulohy.cz/cs>
- [7] KAŠPAR, Emil, Jitka HLAVNIČKOVÁ-FENCOLOVÁ, Oldřich LEPIL, Václav SKALICKÝ, Jaroslav VACHEK a Bohumil VLACH. *Didaktika fyziky: obecné otázky*. 1. vyd. Praha: SPN, 1978. ISBN 14-636-78.
- [8] The Role of Practical Work in School Science. BENNETT, Judith. *Teaching and learning science: a guide to recent research and its applications*. Repr. New York: Continuum, 2004, s. 73-98. ISBN 0826477453.
- [9] JENKINS, Edgard (ed.). The schooling of laboratory science. WELLINGTON, Jerry. *Practical work in school science: which way now?* New York: Routledge, 1998, s. 35-51. ISBN 0415174937.

- [10] KERR, John Fairhurst. *Practical Work in School Science: An Account of an Inquiry Sponsored by the Gulbenkian Foundation Into the Nature and Purpose of Practical Work in School Science Teaching in England and Wales*. Leicester: Leicester University Press, 1963.
- [11] *Rámcový vzdělávací program pro gymnázia*. [online]. Praha: Výzkumný ústav pedagogický v Praze, 2007. 100 s. [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: http://www.vuppraha.cz/wp-content/uploads/2009/12/RVPG-2007-07_final.pdf. ISBN 978-80-87000-11-3.
- [12] INTERNATIONAL BACCALAUREATE ORGANIZATION. *International education - International Baccalaureate* [online]. 2015 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://ibo.org/>.
- [13] Physics in the DP. INTERNATIONAL BACCALAUREATE ORGANIZATION. *International education - International Baccalaureate* [online]. 2015 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://www.ibo.org/en/programmes/diploma-programme/curriculum/sciences/physics/>.
- [14] HODSON, Derek. A Critical Look at Practical Work in School Science. *School Science Review*. 1990, **71**(256), 33-40. ISSN 0036-6811.
- [15] HOFSTEIN, Avi a Vincent N. LUNETTA. The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*. 2004, **88**(1), 28-54. DOI: 10.1002/sce.10106. ISSN 0036-8326. Dostupné také z: <http://doi.wiley.com/10.1002/sce.10106>
- [16] MILLAR, Robin. *Analysing practical activities to assess and improve effectiveness: The Practical Activity Analysis Inventory (PAAI)*. York: Centre for Innovation and Research in Science Education, University of York. 2009.
- [17] TIBERGHIE, Andrée. Designing teaching situations in the secondary school. MILLAR, Robin, John LEACH a Jonathan OSBORNE (eds.). *Improving science education: the contribution of research*. Philadelphia: Open University Press, 2000, s. 27-47. ISBN 033520645X.
- [18] *Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání*. [online]. Praha: Výzkumný ústav pedagogický v Praze, 2007. 126 s. [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: http://www.vuppraha.cz/wp-content/uploads/2009/12/RVPZV_2007-07.pdf.

- [19] MILLAR, Robin. Practical work. OSBORNE, Jonathan a Justin DILLON (eds.). *Good practice in science teaching: What research has to say*. 2nd ed. Maidenhead, England: McGraw-Hill/Open University Press, 2010, s. 108-134. ISBN 9780335238590.
- [20] WATSON, Rod. The Role of Practical Work. MONK, Martin a Jonathan OSBORNE (eds.). *Good practice in science teaching: what research has to say*. New York: Open University Press, 2003, s. 57-71. ISBN 0335203914.
- [21] YAGER, Robert E., Harold B. ENGEN a Bill C. F. SNIDER. Effects of the laboratory and demonstration methods upon the outcomes of instruction in secondary biology. *Journal of Research in Science Teaching*. 1969, **6**(1), 76-86. DOI: 10.1002/tea.3660060115. ISSN 0022-4308. Dostupné také z: <http://doi.wiley.com/10.1002/tea.3660060115>
- [22] WATSON, Rod, Teresa PRIETO a Justin S. DILLON. The effect of practical work on students' understanding of combustion. *Journal of Research in Science Teaching*. 1995, **32**(5), 487-502. DOI: 10.1002/tea.3660320506. ISSN 0022-4308. Dostupné také z: <http://doi.wiley.com/10.1002/tea.3660320506>
- [23] ATKINSON, Elaine P. a Richard T. WHITE. Influence of practical work on test performance. *Research in Science Education*. 1981, **11**(1), 87-93. DOI: 10.1007/BF02356771. ISSN 0157-244x. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/BF02356771>
- [24] DRIVER, Rosalind. *The pupil as scientist?*. 1st publ. 1983, repr. Milton Keynes [England]: Open University Press, 1983. ISBN 03-351-0178-X.
- [25] SCOTT, P. a J. LEACH. Learning science concepts in the secondary science classroom. RATCLIFFE, Mary (ed.). *ASE guide to secondary science education*. Cheltenham: Stanley Thornes, 1998, s. 59-66. ISBN 9780863572913.
- [26] SIEGLER, Robert S. a Robert M. LIEBERT. Acquisition of formal scientific reasoning by 10- and 13-year-olds: Designing a factorial experiment. *Developmental Psychology*. 1975, **11**(3), 401-402. DOI: 10.1037/h0076579. ISSN 0012-1649. Dostupné také z: <http://content.apa.org/journals/dev/11/3/401>
- [27] GAULD, C. F. a A. A. HUKINS. Scientific Attitudes: a Review. *Studies in Science Education*. 2008, **7**(1): 129-161. DOI: 10.1080/03057268008559877.

ISSN 0305-7267. Dostupné také z:

<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03057268008559877>

- [28] ŠABATKA, Zdeněk. Interactive Physics Laboratory - Experiments in Electricity. In: ŠAFRÁNKOVÁ, J. a J. PAVLŮ (eds.). *WDS'10 Proceedings of Contributed Papers: Part III – Physics*. Prague: Matfyzpress, 2010, s. 91-96. ISBN 978-80-7378-141-5.
- [29] BEDNARČÍK, Milan a Miroslava ŠIROKÁ. *Fyzika pro gymnázia: mechanika*. 3., přeprac. vyd. Praha: Prometheus, 2000. ISBN 80-719-6176-0.
- [30] LEPIL, Oldřich. *Fyzika pro gymnázia: mechanické kmitání a vlnění*. 3. přeprac. vyd. Praha: Prometheus, 2001. ISBN 80-719-6216-3.
- [31] BARTUŠKA, Karel a Emanuel SVOBODA. *Fyzika pro gymnázia: molekulová fyzika a termika*. 4. přeprac. vyd. Praha: Prometheus, 2000. ISBN 80-719-6200-7.
- [32] LEPIL, Oldřich a Přemysl ŠEDIVÝ. *Fyzika pro gymnázia: elektřina a magnetismus*. 5., přeprac. vyd. Praha: Prometheus, 2000. ISBN 80-719-6202-3.
- [33] LEPIL, Oldřich. *Fyzika pro gymnázia: optika*. 3., přeprac. vyd. Praha: Prometheus, c2002. ISBN 978-80-7196-237-3.
- [34] BARTUŠKA, Karel. *Fyzika pro gymnázia: speciální teorie relativity*. 3., přeprac. vyd. Praha: Prometheus, 2001. ISBN 80-719-6209-0.
- [35] ŠTOLL, Ivan. *Fyzika pro gymnázia: fyzika mikrosvěta*. 3., přeprac. vyd. Praha: Prometheus, c2002. ISBN 80-719-6241-4.
- [36] MACHÁČEK, Martin. *Fyzika pro gymnázia: astrofyzika*. 1. vyd. Praha: Prometheus, 1998. Učebnice pro střední školy. ISBN 80-719-6091-8.
- [37] AGREST, Mikhail M. Physics Labs with Flavor. *The Physics Teacher*. 2009, 47(5), 297-301. DOI: 10.1119/1.3116842. ISSN 0031-921x. Dostupné také z: <http://scitation.aip.org/content/aapt/journal/tpt/47/5/10.1119/1.3116842>
- [38] AGREST, Mikhail M. Physics Labs with Flavor II. *The Physics Teacher*. 2011, 49(5), 295-297. DOI: 10.1119/1.3578425. ISSN 0031921x. Dostupné také z: <http://scitation.aip.org/content/aapt/journal/tpt/49/5/10.1119/1.3578425>

- [39] GREENMAN, Mark. D. *Marblehead Science Matters* [online]. 2013 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: http://mhs.marbleheadschoools.org/teachers/page/greenman/prof_development.
- [40] SOKOLOFF, David R. a Ronald K. THORNTON. Using interactive lecture demonstrations to create an active learning environment. *The Physics Teacher*. 1997, **35**(6), 340-347. DOI: 10.1119/1.2344715. ISSN 0031-921x. Dostupné také z: <http://scitation.aip.org/content/aapt/journal/tpt/35/6/10.1119/1.2344715>
- [41] SOKOLOFF, David R. a Ronald T. THORNTON. *Interactive lecture demonstrations: active learning in introductory physics*. New York: John Wiley, 2004. ISBN 04-714-8774-0.
- [42] MERRITTS, Dorothy, Robert WALTER a Bob MACKAY. Interactive Lecture Demonstrations. *Starting Point - Teaching Entry Level Geoscience* [online]. 2012 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://serc.carleton.edu/introgeo/demonstrations/index.html>
- [43] JOHANSSON, K. E. a Ch. NILSSON. Stockholm Science Laboratory for Schools: a complement to the traditional education system. *Physics Education*. 1999, **34**(6), 345-350.
- [44] JOHANSSON, K. E. House of Science: a university laboratory for schools. *Physics Education*. 2004, **39**(4), 342-345.
- [45] JOHANSSON, K. E. A university laboratory for schools – a new meeting place for students and teachers. *Physics Education*. 2008, **43**(5), 530-535.
- [46] *Vetenskapens Hus* [online]. 2015 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://vetenskapenshus.se.loopiadns.com/>
- [47] RENNER, Christoph. Hands-on inspiration for science. *Nature Materials*. 2009, **8**(4), 245-247. DOI: 10.1038/nmat2410. ISSN 1476-1122. Dostupné také z: <http://www.nature.com/doifinder/10.1038/nmat2410>
- [48] *PhysiScope* [online]. 2015 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://www.physiscope.ch/>
- [49] *IQpark* [online]. 2015 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://www.iqpark.cz/cs/>
- [50] *IQLANDIA SCIENCE CENTER LIBEREC* [online]. 2015 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://www.iqlandia.cz/>

- [51] *Techmania Science Center* [online]. 2015 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://techmania.cz/>
- [52] *Svět techniky Ostrava: Science and Technology Center Ostrava* [online]. 2015 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://www.stcostrava.cz/>
- [53] *VIDA - science centrum Brno: Zábavní vědecký park* [online]. 2015 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://vida.cz/>
- [54] *S’Cool LAB* [online]. 2015 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://scool.web.cern.ch/>
- [55] ŠABATKA, Zdeněk. Interactive Physics Laboratory for High School Students (Experiences and Teachers’ Opinions). In ŠAFRÁNKOVÁ, J. a J. PAVLŮ (eds.). *WDS’09 Proceedings of Contributed Papers: Part III – Physics*. Prague: Matfyzpress, 2009, s. 134–137. ISBN 978-80-7378-103-3.
- [56] ŠABATKA, Zdeněk. Projekt „Interaktivní fyzikální laboratoř“ se dává do pohybu: prosba učitelům o pomoc při vytváření IFL. In: *FyzWeb* [online]. 2009 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://fyzweb.cz/clanky/index.php?id=133>
- [57] DVOŘÁK, Leoš, Irena DVOŘÁKOVÁ a Věra KOUDELKOVÁ. *Fyzika: aktivně, aktuálně a s aplikacemi : Přírodní vědy a matematika na středních školách v Praze: aktivně, aktuálně a s aplikacemi - projekt OPPA*. Vyd. 1. Praha: P3K, 2012. ISBN 978-80-87186-67-1. Dostupné také z: http://kdf.mff.cuni.cz/projekty/oppa/fyzika_aaa.pdf
- [58] DVOŘÁK, Leoš, Zdeněk ŠABATKA, Věra KOUDELKOVÁ a Irena DVOŘÁKOVÁ. *Náboje, proudy a elektrické obvody: vzdělávací modul fyzika : výukový a metodický text : Přírodní vědy a matematika na středních školách v Praze: aktivně, aktuálně a s aplikacemi - projekt OPPA*. Vyd. 1. Praha: P3K, 2012. ISBN 978-80-87186-78-7.
- [59] ŠABATKA, Zdeněk. *Interaktivní fyzikální laboratoř* [online]. 2009 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://kdf.mff.cuni.cz/ifl/>
- [60] *CMS Made Simple Czech Site* [online]. 2004 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://www.cmsmadesimple.cz/>
- [61] *Sbírka fyzikálních pokusů* [online]. 2011 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://kdf.mff.cuni.cz/pokusy/>

- [62] KOUPILOVÁ, Zdenka a Dana MANDÍKOVÁ. Elektronická sbírka řešených úloh z fyziky In: Rauner, K. (ed.): *Veletrh nápadů učitelů fyziky 12*, Plzeň: Západočeská univerzita, 2008, s. 68-71. ISBN 978-80-7043-728-5.
- [63] ŠABATKA, Zdeněk, Leoš DVOŘÁK a Věra KOUDELKOVÁ. Demonstration Experiments in Electricity and Magnetism for Future Teachers. In: *Physics Alive: Proceedings GIREP-EPEC Conference 2011* [online]. 2012, 296-301 [cit. 2016-05-01]. ISBN 978-951-39-4801-6. Dostupné z: <https://www.jyu.fi/en/congress/girep2011/main-page/electronic-proceedings-of-the-girep-epec-2011-conference>
- [64] ŠABATKA, Zdeněk, Zdeněk DROZD a Věra KOUDELKOVÁ. Interactive Physics Laboratory and Collection of Demonstration Experiments. In: *Proceedings of The World Conference on Physics Education 2012* [online]. Mehmet Fatih TAŞAR. Ankara, Turkey, 2014, 1135-1141 [cit. 2016-05-01]. ISBN 978-605-364-658-7. Dostupné z: <http://www.slideshare.net/leonardoheidemann/wcpe-2012-proceedings>
- [65] Katalog požadavků zkoušek společné části maturitní zkoušky: Fyzika. In: *Info.edu.cz: Portál o školství a vzdělávání* [online]. 2008 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: info.edu.cz/cs/system/files/Fyzika_katalog.pdf.
- [66] LEPIL, Oldřich et al. *Fyzika pro střední školy I.* dotisk 4. vyd. Havlíčkův Brod: Prometheus, 2010. ISBN 978-80-7196-184-0.
- [67] LEPIL, Oldřich a Emanuel SVOBODA. *Příručka pro učitele fyziky na střední škole.* 1. vyd. Havlíčkův Brod: Prometheus, 2007. ISBN 978-80-7196-328-8.
- [68] ŠABATKA, Zdeněk. *Magnetické pole solenoidu* [online]. 2015 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: http://kdf.mff.cuni.cz/ifl/experiment/stac_pole/
- [69] ŠABATKA, Zdeněk. *Záznamový arch: Magnetické pole solenoidu* [online]. 2015. [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: http://kdf.mff.cuni.cz/ifl/experiment/stac_pole/dokumenty/zaznamovy_arch.pdf
- [70] PISKAČ, Václav. Žákovské elektromagnety. *Fyzikální šuplík* [online]. 2011 [cit. 2016-03-06]. Dostupné z: http://fyzikalnisuplik.websnadno.cz/fyzika/zakovske_elektromagnety.pdf

- [71] PISKAČ, Václav. Žákovské elektromagnety: pracovní listy. *Fyzikální šuplík* [online]. 2011 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: http://fyzikalnisuplik.websnadno.cz/fyzika/zakovske_elektromagnety_-_pracovni_listy.pdf
- [72] Fine Beam Tube on Connection Base: Instruction sheet. *B Scientific* [online]. 2012 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: https://www.3bscientific.com/product-manual/1000904_EN.pdf
- [73] Electron-Beam Deflection Tube D: Instruction sheet. *3B Scientific* [online]. 2012 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: https://www.a3bs.com/product-manual/U19155_EN.pdf
- [74] Stripped Down Motor: Make a simple mini-motor. *The Museum of Science, Art and Human Perception: Exploratorium* [online]. 2015 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://www.exploratorium.edu/activity-science-snack-stripped-down-motor>
- [75] MARTÍNEZ, Alberto A. Replication of Coulomb's Torsion Balance Experiment. *Archive for History of Exact Sciences*. 2006, **60**(6), 517-563. DOI: 10.1007/s00407-006-0113-9. ISSN 0003-9519. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s00407-006-0113-9>
- [76] Coulomb's Law Apparatus. *PASCO* [online]. [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: https://www.pasco.com/prodCatalog/ES/ES-9070_coulombs-law-apparatus/
- [77] CORTEL, Adolf. Demonstrations of Coulomb's law with an electronic balance. *The Physics Teacher*. 1999, **37**(7), 447-448. DOI: 10.1119/1.880349. ISSN 0031921x. Dostupné také z: <http://scitation.aip.org/content/aapt/journal/tpt/37/7/10.1119/1.880349>
- [78] LARSON, Curtiss O. A Coulomb's Law Balance Suitable for Physics Majors and Nonscience Students. *American Journal of Physics*. 1970, **38**(11), 1349-1352. DOI: 10.1119/1.1976097. ISSN 00029505. Dostupné také z: <http://scitation.aip.org/content/aapt/journal/ajp/38/11/10.1119/1.1976097>
- [79] SMYTHE, William Ralph. *Static and dynamic electricity*. New York: McGraw-Hill, 1950. Dostupné z: <https://archive.org/details/StaticAndDynamicElectricity>

- [80] SUTTON, Richard Manliffe. *Demonstration experiments in physics*. College Park, MD: American Association of Physics Teachers, 2003. ISBN 978-193-1024-051. Dostupné také z: <https://archive.org/details/demonstrationexp031524mbp>
- [81] ONDRUŠEK, Vojtěch. Pokusy s jednoduchými pomůckami. In: *Veletrh nápadů učitelů fyziky 2: sborník z konference*. Plzeň: Západočeská univerzita, Pedagogická fakulta, 1997, s. 25 - 26. ISBN 80-7043-215-2. Dostupné také z: http://vnuf.cz/sbornik/prispevky/pdf/02-17-Ondrusek_V.pdf
- [82] SENKBEIL, Edward G. a Thomas P. GONNELLA. Combustion demonstration using updated flame tornado. *Journal of Chemical Education*. 2000, **77**(11): 1449-1450. DOI: 10.1021/ed077p1449. ISSN 0021-9584. Dostupné také z: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed077p1449>
- [83] ANSELL, Dave. Flame Tornado - A Spinning Column of Fire. The Naked Scientists [online]. 2010 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://www.thenakedscientists.com/HTML/experiments/garage-science/exp/flame-tornado-a-spinning-column-of-fire/>
- [84] ŠABATKA, Zdeněk. *Experimenty pro interaktivní fyzikální laboratoř - vybrané experimenty v rotujících soustavách*. Praha, 2008. Dostupné také z: http://kdf.mff.cuni.cz/sabatka/publikace/zaverecne_prace/diplomka/text_diplomove_prace/diplomka_pc.pdf. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze, Matematicko-fyzikální fakulta, Katedra didaktiky fyziky. Vedoucí práce Leoš Dvořák.
- [85] ŠABATKA, Zdeněk a Leoš DVOŘÁK. Vodní paraboloid. In: *Veletrh nápadů učitelů fyziky 12: Sborník z konference*. Praha: Prometheus, 1997, s. 197-201. ISBN 978-80-7196-352-3. Dostupné také z: http://vnuf.cz/sbornik/prispevky/pdf/12-20-Sabatka_Z,_Dvorak_L.pdf
- [86] ŠABATKA, Zdeněk a Leoš DVOŘÁK. Simple verification of the parabolic shape of a rotating liquid and a boat on its surface. *Physics Education*. 2010, **45**(5): 462-468. DOI: 10.1088/0031-9120/45/5/001. ISSN 0031-9120. Dostupné také z: <http://iopscience.iop.org/0031-9120/45/5/001/>
- [87] LEPIL, Oldřich et al. *Fyzika pro střední školy II*. 3. přeprac. vyd. Havlíčkův Brod: Prometheus, 2002, 312 s. ISBN 80-7196-185-X

- [88] BROŽ, Jaromír et al. *Základy fyzikálních měření I. díl*. 1. vyd. Praha: SPN, 1967. ISBN 16-924-67.
- [89] DVOŘÁK, Leoš. Další nápady z Malé Hraštic: co s čočkami. In: *Veletrh nápadů učitelů fyziky 15: Sborník z konference*. 1. vyd. Havlíčkův Brod: Prometheus, 2011, 47 - 51. ISBN 978-80-7196-417-9. Dostupné z: <http://vnuf.cz/sbornik/prispevky/15-05-Dvorak.html>
- [90] PISKÁČ, Václav. Ztráty energie na U-rampě: laboratorní práce. In: Fyzikální šuplík [online]. 2011 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://skolnipomucky.websnadno.cz/lp/u-rampa.pdf>
- [91] PISKÁČ, Václav. Reostat a potenciometr. In: Fyzikální šuplík [online]. 2012 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: http://fyzikalnisuplik.websnadno.cz/elektro/reostat_a_potenciometr.pdf
- [92] HONEYWELL. SS490 Series Miniature Ratiometric Linear Solid State Sensors: Datasheet. *Farnell element14* [online]. 1998, 2004-01-28 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1683360.pdf>
- [93] HUBENÁK, Josef. Měření magnetické indukce. In: *Veletrh nápadů učitelů fyziky IX: sborník z konference*. Brno: Paido, 2004, s. 33-37. svazek 2. ISBN 80-7315-087-5. Dostupné také z: http://vnuf.cz/sbornik/prispevky/pdf/09-16-Hubenak_J.pdf
- [94] PAZDERA, Václav. Výroba $4 \times$ jinak. In: *Dílny Heuréky 2012: sborník konferencí projektu Heureka*. Praha: Prometheus, 2012, s. 116-123. ISBN 978-80-7196-396-7. Dostupné také z: https://kdf.mff.cuni.cz/heureka/sborniky/DilnyHeureky_2012.pdf
- [95] Intrinsic Motivation Inventory (IMI). *Self-Determination Theory* [online]. 2014 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://www.selfdeterminationtheory.org/intrinsic-motivation-inventory/>
- [96] MCAULEY, Edward, Terry DUNCAN a Vance V. TAMMEN. Psychometric Properties of the Intrinsic Motivation Inventory in a Competitive Sport Setting: A Confirmatory Factor Analysis. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 1989, **60**(1), 48-58. DOI: 10.1080/02701367.1989.10607413. ISSN 0270-1367. Dostupné také z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02701367.1989.10607413>

- [97] HENDL, Jan. *Přehled statistických metod: analýza a metaanalýza dat*. Páté, rozšířené vydání. Praha: Portál, 2015. ISBN 978-80-262-0981-2.
- [98] Wilcoxon Rank Sum and Signed Rank Tests. R-manual [online]. [cit. 2016-06-08]. Dostupné z: <https://stat.ethz.ch/R-manual/R-devel/library/stats/html/wilcox.test.html>
- [99] *The R Project for Statistical Computing* [online]. [cit. 2016-06-08]. Dostupné z: <https://www.r-project.org/>
- [100] ŠABATKA, Zdeněk a Leoš DVOŘÁK. Two simple ways of verification of the $1/r^2$ dependence in Coulomb's law at both high school and university level. Girep Conference 2010, Reims, France. Dostupné z: http://www.univ-reims.fr/site/evenement/girep-icpe-mptl-2010-reims-international-conference/gallery_files/site/1/90/4401/22908/29321/29504.pdf
- [101] JACKSON, J. D. *Classical Electrodynamics*, 1998, ISBN 978-0471309321.
- [102] Coulomb potential and Coulomb field of metal spheres. *PHYWE Excelence in Science* [online]. Göttingen: PHYWE SYSTEME GMBH & Co. KG, 2009 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://repository.phywe.de/files/versuchsanleitungen/p2420500/e/p2420500e.pdf>
- [103] SEDLÁK, B. a I. ŠTOLL. *Elektrina a magnetismus*. Vyd. 2., opr. a rozš. Praha: Academia, 2002, 632 s. ISBN 80-200-1004-1.
- [104] *Electric field meter: Operating instructions*. 1999. [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: http://www.phywe.de/index.php/fuseaction/download/lrn_file/bedanl.pdf/11500.10/e/1150010e.pdf
- [105] ZABLE, Tony. Lab: Parallel Plate Capacitor. In: *Dr. Tony Zable's Home Page* [online]. 2007 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: http://spot.pcc.edu/~azable/ph213/labs/213Lab4-Parallel.Plate_Capacitors.doc
- [106] ALDEN, Emily. Capacitors Lab. In: Demonstration Lab [online]. Michigan: University of Michigan, 2013 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: [https://sharepoint.umich.edu/lsa/physics/demolab/Lists/Original Experiment Documents/Capacitors - Student Worksheet.docx](https://sharepoint.umich.edu/lsa/physics/demolab/Lists/Original%20Experiment%20Documents/Capacitors%20-%20Student%20Worksheet.docx)

- [107] MIKULČÁK, Jiří a kol. Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy. 4. vyd. Praha: Prometheus, 2007. Pomocné knihy pro žáky (Prometheus). ISBN 978-80-7196-345-5.
- [108] ELECTRICAL, MAGNETIC AND OPTICAL PROPERTIES: Permittivity. *PHYSICS RESOURCES DATABASE* [online]. Sydney, 1999 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: http://www.physics.usyd.edu.au/teach_res/db/d0006c.htm
- [109] KUEK CHEE YAW. Measurement of Dielectric Material Properties. *Rohde and Schwarz* [online]. 2012 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: https://cdn.fswwwp.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_application/00aps_undefined/RAC-0607-0019_1_5E.pdf
- [110] Relativní permitivita. BUREŠ, Jiří. *ConVERTER* [online]. Holešov, 2002 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/relativni-permitivita.htm>
- [111] Electrical fields and potentials in the plate capacitor. *PHYWE Excellence in Science* [online]. Göttingen: PHYWE SYSTEME GMBH & Co. KG, 2009 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://repository.phywe.de/files/versuchsanleitungen/p2420100/e/p2420100.pdf>
- [112] Moments of inertia of different bodies / Steiner's theorem. In: *Phywe Systeme* [online]. 2011 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://repository.phywe.de/files/versuchsanleitungen/p2132811/e/p2132811.pdf>
- [113] KVASNICA, Jozef, Antonín HAVRÁNEK, Pavel LUKÁČ a Boris SPRUŠIL. *Mechanika*. Vyd. 2. Praha: Academia, 2004. ISBN 80-200-1268-0.
- [114] Torsion pendulum according to Professor Pohl. In: *3B Scientific* [online]. 2006 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: https://www.3bscientific.com/product-manual/U15040_EN.pdf
- [115] HEJNOVÁ, Eva. Měření Youngova modulu pružnosti v tahu a ve smyku. In: *Mgr. Eva Hejnová* [online]. Ústí nad Labem: Přírodovědecká fakulta ÚJEP, 2008 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://physics.ujep.cz/~ehejnova/PraktikumA/uloha6.pdf>
- [116] ČERVENKA, Milan. Určení modulu pružnosti ve smyku dynamickou metodou a stanovení momentu setrvačnosti: Laboratorní úloha. In: *Laboratorní*

- cvičení z fyziky* [online]. Praha: FEL ČVUT, 2013 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://herodes.feld.cvut.cz/mereni/downloads/navody/torze.pdf>
- [117] Torsional vibrations and torsion modulus. In: *Phywe Systeme* [online]. 2005 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://repository.phywe.de/files/versuchsanleitungen/p2133000/e/p2133000.pdf>
- [118] ŠABATKA, Z., DVOŘÁK, L., DROZD, Z., a kol. Interaktivní fyzikální laboratoř (názory pražských učitelů a učitelek). In BOCHNÍČEK Z.; NAVRÁTIL Z. (ed.) Veletrh nápadů učitelů fyziky 14, konferenční sborník. Brno: Masarykova univerzita, 2009, s. 206-210. ISBN 978-80-210-5022-8.

Seznam publikací autora

- [1] ŠABATKA, Zdeněk a Leoš DVOŘÁK. Vodní paraboloid. In: *Veletrh nápadů učitelů fyziky 12, sborník z konference*. Praha: Prometheus, 2007, s. 197-201. ISBN 978-80-7196-352-3.
- [2] ŠABATKA, Zdeněk. Vybrané experimenty v rotujících soustavách. In: *Veletrh nápadů učitelů fyziky 13, sborník z konference*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2008, s. 41-47. ISBN 978-80-7043-728-5.
- [3] ŠABATKA, Zdeněk a kol. Interaktivní fyzikální laboratoř (názory pražských učitelů a učitelek). In BOCHNÍČEK Z.; NAVRÁTIL Z. (ed.) *Veletrh nápadů učitelů fyziky 14, konferenční sborník*. Brno: Masarykova univerzita, 2009, s. 206-210. ISBN 978-80-210-5022-8.
- [4] ŠABATKA, Zdeněk. Interactive Physics Laboratory for High School Students (Experiences and Teachers' Opinions). In ŠAFRÁNKOVÁ, J.; PAVLŮ, J. (ed.) *WDS'09 Proceedings of Contributed Papers: Part III – Physics*. Prague: Matfyzpress, pp. 134–137, 2009. ISBN 978-80-7378-103-3.
- [5] ŠABATKA, Zdeněk. Interactive Physics Laboratory - Experiments in Electricity. In ŠAFRÁNKOVÁ, J.; PAVLŮ, J. (ed.) *WDS'10 Proceedings of Contributed Papers: Part III – Physics*. Prague: Matfyzpress, pp. 91-96, 2010. ISBN 978-80-7378-141-5.
- [6] ŠABATKA, Zdeněk. Základy elektrostatiky v pokusech. In DROZD Z. (ed.) In: *Veletrh nápadů učitelů fyziky 15, konferenční sborník*. Praha: Prometheus, 2010, s. 207-214. ISBN 978-80-7196-417-9.
- [7] ŠABATKA, Zdeněk a Leoš DVOŘÁK. Simple verification of the parabolic shape of a rotating liquid and a boat on its surface. *Physics Education*. 2010, **45**(5), 462-468.
- [8] ŠABATKA, Zdeněk a Leoš DVOŘÁK. Two simple ways of verification of the $1/r^2$ dependence in Coulomb's law at both high school and university level. Girep Conference 2010, Reims, France. Dostupné z:
http://www.univ-reims.fr/site/evenement/girep-icpe-mptl-2010-reims-international-conference/gallery_files/site/1/90/4401/22908/29321/29504.pdf

- [9] ŠABATKA, Zdeněk a Leoš DVOŘÁK. Faradayova klec na střední škole. In: *Aktuálne problémy fyzikálneho vzdelávania v európskom priestore, zborník príspevkov*. Pobočka JSMF v Nitre, Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre, 2011. ISBN 978-80-8094-988-4.
- [10] ŠABATKA, Zdeněk. Měření v elektrostatice. In: *Dílny Heuréky 2009-2010: sborník konferencí projektu Heuréka*. Praha: Prometheus, 2011. ISBN 978-80-7196-424-7.
- [11] ŠABATKA, Zdeněk, Leoš DVOŘÁK a Věra KOUDELKOVÁ. Demonstration Experiments in Electricity and Magnetism for Future Teachers. In: *Physics Alive: Proceedings GIREP-EPEC Conference 2011* [online]. 2012, 296 - 301 [cit. 2016-05-01]. ISBN 978-951-39-4801-6. Dostupné z: <https://www.jyu.fi/en/congress/girep2011/main-page/electronic-proceedings-of-the-girep-epec-2011-conference>
- [12] ŠABATKA, Zdeněk. Demonstrační pokusy z elektřiny a magnetismu. In: *Veletrh nápadů učitelů fyziky 16, sborník z konference*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2011, s. 227 – 232. ISBN 978-80-244-2894-9.
- [13] ŠABATKA, Zdeněk, Zdeněk DROZD a Věra KOUDELKOVÁ. Interactive Physics Laboratory and Collection of Demonstration Experiments. In: *Proceedings of The World Conference on Physics Education 2012* [online]. Mehmet Fatih TAŞAR. Ankara, Turkey, 2014, 1135 - 1141 [cit. 2016-05-01]. ISBN 978-605-364-658-7. Dostupné z: <http://www.slideshare.net/leonardoheidemann/wcpe-2012-proceedings>
- [14] DVOŘÁK, Leoš, Zdeněk ŠABATKA, Věra KOUDELKOVÁ a Irena DVOŘÁKOVÁ. *Náboje, proudy a elektrické obvody*. Praha: P3K s.r.o., 2012. ISBN 978-80-87186-78-7.
- [15] ŠABATKA, Zdeněk. Létáš, látám, létáme. In: *Veletrh nápadů učitelů fyziky 17, sborník z konference*. Praha: P3K s.r.o., 2012, s. 282 - 287. ISBN 978-80-87343-13-5.
- [16] ŠABATKA, Zdeněk. Experimenty z Interaktivní fyzikální laboratoře - rotující soustavy. In: *Veletrh nápadů učitelů fyziky 19, sborník z konference*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2014, s. 168 - 173. ISBN 978-80-261-0439-1.
- [17] ŠABATKA, Zdeněk. Experimenty z Interaktivní fyzikální laboratoře: magnetické pole. In: *Veletrh nápadů učitelů fyziky 20, sborník z konference*. Praha: P3K s.r.o.,

2016, s. 242 - 247. ISBN 978-80-87343-58-6.

Seznam zkratek

CERN	Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire; European Organization for Nuclear Research
CGSE	Council of Graduate Students in Education
FET	Field Effect Transistor
GIREP	The International Research Group on Physics Teaching
ILEP	Interactive Laboratory Experience Procedure
ILD	Interactive Lectury Demonstration
IFL	Interaktivní fyzikální laboratoř
IB	International Baccalaureate Diploma Programme
ICPE	International Conference on Physics Education
IMI	Intrinsic Motivation Inventory
KDF	Katedra didaktiky fyziky
LED	Light Emitting Diode
MFF	Matematicko-fyzikální fakulta
MPTL	Multimedia in Physics Teaching and Learning (European Physical Society Physics Education Division)
OPPA	Operační program Praha - Adaptabilita
RVP	Rámcový vzdělávací program
RVPG	Rámcový vzdělávací program pro gymnaziální vzdělávání
RVPZV	Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání
TIMSS	Trends in International Mathematics and Science Study
UK	Univerzita Karlova
USA	United States of America

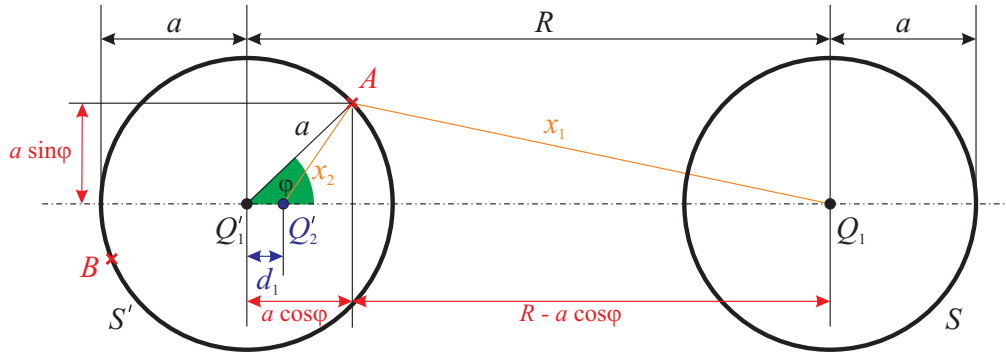
Přílohy

A. Odvození elektrostatické síly působící mezi dvěma nabitými vodivými sférami

Jak již bylo zmíněno, celý text této práce si klade za cíl seznámit současné i budoucí lektory v IFL s jejím počátečním vývojem a aktivitami, které byly v úvodních letech jejího fungování pro studenty středních škol připraveny. Tato její část cílí na vysvětlení konkrétního aspektu jednoho z experimentů (*Ověření Coulombova zákona na digitálních vahách*), který je popsán v části 8.1. Níže popsané teoretické odvození vztahu pro velikost síly působící mezi dvěma nabitými vodivými sférami tedy jistě není podstatné pro návštěvníky z řad studentů středních škol, ale mohlo by být zajímavé pro některé vyučující a je tak vhodné, aby se lektori IFL se způsobem tohoto odvození seznámili a byli schopni zodpovědět případné otázky. Celé odvození je známé a vychází z článku [78] a publikace [79]. V porovnání s článkem [78] je však dle mého názoru zde uvedené odvození detailnější, neboť v něm nejsou vynechány některé kroky, které by nemusely být pro některé čtenáře zcela zřejmé. V porovnání s publikací [79] je konkrétnější, jelikož se zaměřuje přímo na dvě odpuzující se vodivé sféry o stejném poloměru.

Představme si, že máme k dispozici dvě stejné kuličky o poloměru a a každou s celkovým nábojem Q . Je jasné, že po přiblížení do jisté vzdálenosti R dojde k vzájemnému působení nábojů na kuličkách a ty se na nich přerozdělí, takže jejich „těžiště“ již nebude ve středu kuličky, ale bude posunuto. Pokud bude náboj opačný, dojde k jeho přiblížení a velikost síly působící mezi kuličkami se zvýší. Budou-li náboje souhlasné, pak k oddálení a velikost působící síly se naopak sníží.

Naším cílem je nalézt statické rozložení náboje na kuličkách tak, aby obě z nich byly z pohledu výsledného elektrického pole ekvipotenciálními plochami a aby každá z nich měla celkový náboj Q , resp. $-Q$. Namísto řešení hustoty náboje na povrchu koulí, kterou bychom následně také mohli určit, však budeme postupovat tak, že budeme řešit rozložení náboje na ose středů obou koulí. I když tyto náboje nejsou reálné a ve skutečnosti se uvnitř kuliček nenacházejí, je takovéto řešení v elektrostatice běžné (viz učebnice [103]) a navíc výrazně jednodušší. Důležité na tomto postupu je, že je možné dostat se k řešení analyticky. Každý z umístěných nábojů vytváří elektrostatické pole, jejichž složením získáme elektrické pole mezi kuličkami.



Obrázek A.1: Ke korekci Coulombova zákona.

Jak zachycuje obrázek A.1, začneme rozmísťovať bodové náboje tak, že do stredu prvej kuličky (S) umiestíme bodový náboj Q_1 . Povrch tejto kuličky je pak ekvipotenciální plochou s potenciálom

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q_1}{a}, \quad (\text{A.1})$$

kde ϵ je permitivita prostředí a a je poloměr kulové plochy.

Umístění náboje Q'_1 a Q'_2

Následně do středu druhé kuličky umístíme bodový náboj Q'_1 a náboj Q'_2 do takové vzdálenosti d_1 , aby povrch druhé kuličky byl ekvipotenciální plochou s potenciálom $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q'_1}{a}$. To znamená, že účinky bodových nábojů Q'_2 a Q_1 se musí pro povrch kuličky „vyrušit“ a pro každý bod druhé kulové plochy, jehož vzdálenost od Q_1 označíme x_1 a od Q'_2 označíme x_2 , musí platit

$$\varphi(Q_1) + \varphi(Q'_2) = 0. \quad (\text{A.2})$$

Odtud dále plyne

$$\begin{aligned} \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q_1}{x_1} + \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q'_2}{x_2} &= 0 \\ \frac{Q_1}{x_1} &= -\frac{Q'_2}{x_2} \end{aligned} \quad (\text{A.3})$$

Jelikož Q'_2 i Q_1 jsou konstantní, platí i že jejich poměr, a tedy i poměr vzdáleností x_1, x_2 je konstantní.

$$\frac{Q'_2}{Q_1} = -\frac{x_2}{x_1} = \text{konst.} \quad (\text{A.4})$$

Toto musí platit pro libovolné dva body A, B (viz obrázek A.1). Zopakujme tedy, že hledáme d_1 , tak, aby pro libovolné dva body A, B na kuličce S' platilo

$$\frac{x_{2A}}{x_{1A}} = \frac{x_{2B}}{x_{1B}} \quad (\text{A.5})$$

Pro popis polohy A, B bodů použijeme úhel φ (viz obrázek A.1) a pomocí něj vyjádříme vzdálenosti $x_{1A}, x_{2A}, x_{1B}, x_{2B}$. Pro bod A tedy dostáváme

$$x_{1A} = \sqrt{(R - a \cos \varphi_A)^2 + (a \sin \varphi_A)^2} = \sqrt{R^2 + a^2 - 2Ra \cos \varphi_A}, \quad (\text{A.6})$$

$$x_{2A} = \sqrt{(a \cos \varphi_A - d_1)^2 + (a \sin \varphi_A)^2} = \sqrt{d_1^2 + a^2 - 2ad_1 \cos \varphi_A}. \quad (\text{A.7})$$

Obdobně získáme tyto vzdálenosti i pro bod B a dosadíme do vztahu (A.5).

$$\frac{\frac{x_{2A}}{x_{1A}}}{\frac{x_{2B}}{x_{1B}}} = \frac{\frac{x_{2A}}{x_{1A}}}{\frac{x_{2B}}{x_{1B}}} = \frac{\sqrt{\frac{d_1^2 + a^2 - 2ad_1 \cos \varphi_A}{R^2 + a^2 - 2Ra \cos \varphi_A}}}{\sqrt{\frac{d_1^2 + a^2 - 2ad_1 \cos \varphi_B}{R^2 + a^2 - 2Ra \cos \varphi_B}}} \quad (\text{A.8})$$

Výrazy ve jmenovatelích, které neobsahují hledanou neznámou d_1 pro usnadnění a přehlednost označme jako $R^2 + a^2 - 2Ra \cos \varphi_A = M$ a $R^2 + a^2 - 2Ra \cos \varphi_B = N$. Rovnici (A.8) pak upravíme např. takto

$$\frac{d_1^2 + a^2 - 2ad_1 \cos \varphi_A}{M} = \frac{d_1^2 + a^2 - 2ad_1 \cos \varphi_B}{N} \quad (\text{A.9})$$

$$d_1^2 N + a^2 N - 2ad_1 N \cos \varphi_A = d_1^2 M + a^2 M - 2ad_1 M \cos \varphi_B \quad (\text{A.10})$$

$$(N - M) d_1^2 - 2a (N \cos \varphi_A - M \cos \varphi_B) d_1 + (N - M) a^2 = 0 \quad (\text{A.11})$$

$$d_1^2 - 2a \frac{N \cos \varphi_A - M \cos \varphi_B}{N - M} d_1 + a^2 = 0 \quad (\text{A.12})$$

Zjednodušíme zlomek v lineárním koeficientu kvadratické rovnice (A.12). Nejdříve se podívejme na čitatel

$$\begin{aligned}
N \cos \varphi_A - M \cos \varphi_B &= R^2 \cos \varphi_A + a^2 \cos \varphi_A - 2Ra \cos \varphi_A \cos \varphi_B \\
&\quad - R^2 \cos \varphi_B + a^2 \cos \varphi_B + 2Ra \cos \varphi_A \cos \varphi_B \\
&= (R^2 + a^2) \cos \varphi_A - (R^2 + a^2) \cos \varphi_B \\
&= (R^2 + a^2) (\cos \varphi_A - \cos \varphi_B), \tag{A.13}
\end{aligned}$$

následně na jmenovatel

$$\begin{aligned}
N - M &= 2Ra \cos \varphi_A - 2Ra \cos \varphi_B \\
&= 2Ra (\cos \varphi_A - \cos \varphi_B). \tag{A.14}
\end{aligned}$$

Dosazením čitatele (A.13) a jmenovatele (A.14) do rovnice (A.12) pak dostáváme jednodušší tvar kvadratické rovnice

$$\begin{aligned}
d_1^2 - 2a \frac{R^2 + a^2}{2Ra} d_1 + a^2 &= 0 \\
d_1^2 - \frac{R^2 + a^2}{R} d_1 + a^2 &= 0 \\
\left(d_1 - \frac{R^2}{R}\right) \cdot \left(d_1 - \frac{a^2}{R}\right) &= 0. \tag{A.15}
\end{aligned}$$

Dostáváme tak dvě řešení této kvadratické rovnice a současně dvě odpovědi na naši otázku - do jaké vzdálenosti umístit d_1 umístit náboj Q'_2 , aby kulička S' zůstala ekvipotenciální plochou.

$$d_1(1) = R \tag{A.16}$$

$$d_1(2) = \frac{a^2}{R} \tag{A.17}$$

První řešení $d_1(1)$ je triviální, tato pozice by odpovídala středu první kulové plochy S , a dále jej tedy nebudeme uvažovat. Druhé řešení $d_1(2)$ již odpovídá poloze uvnitř druhé sféry S' a s tímto budeme dále pracovat. Dosazením (A.17) do (A.8) vyjádříme tedy poměr x_2/x_1

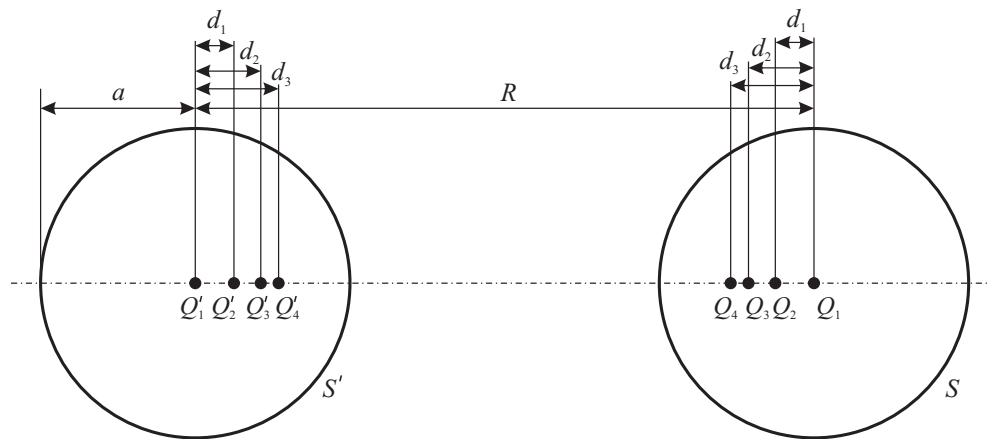
$$\begin{aligned}
\frac{x_2}{x_1} &= \sqrt{\frac{a^2 + \frac{a^4}{R^2} - 2a\frac{a^2}{R} \cos \varphi}{a^2 + R^2 - 2aR \cos \varphi}} \\
&= \sqrt{\frac{\frac{a^2}{R^2} (R^2 + a^2 - 2aR \cos \varphi)}{R^2 + a^2 - 2aR \cos \varphi}} = \sqrt{\frac{a^2}{R^2}} = \frac{a}{R} = \beta,
\end{aligned} \tag{A.18}$$

kde pro jednoduchost zavedeme substituci.

Pro náboj Q'_2 tedy platí

$$Q'_2 = -\frac{a}{R}Q_1 = -\beta Q_1 \tag{A.19}$$

Umístění náboje Q_2 a Q_3



Obrázek A.2: Ke korekci Coulombova zákona - umístění dalších nábojů. Vzdálenosti d_2 , d_3 jsou pro přehlednost zkresleny. V daném poměru $a : R$ se tyto vzdálenosti již velmi blíží velikosti d_1 .

Náboj Q_2 umístíme do první koule do stejné vzdálenosti d_1 od středu koule jako náboj Q'_2 ve druhé. Tím zajistíme, že náboj Q_2 „vyruší“ elektrický potenciál pole náboje Q'_1 na první kulové ploše a ta tak stále bude ekvipotenciální plochou s potenciálem $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q_1}{a}$. Aby tomu tak zůstalo i poté, co se ve druhé kouli objevil náboj Q'_2 je třeba do první přidat náboj Q_3 . Podmínka jeho umístění je stejná jako v předešlé části, tj. žádáme, aby kulová plocha zůstala ekvipotenciální plochou o nezměněném potenciálu. Pro její polohu tedy platí podobné rovnice jako pro umístění náboje Q'_2 v předešlé části. Záměnou $R - d_1$ za R , Q_3 za Q'_2 a doplněním hodnoty Q'_2 v rovnicích (A.17) a (A.19) získáme velikost náboje Q_3 a jeho polohu.

$$d_2 = \frac{a^2}{R - d_1} = \frac{a^2}{R - \frac{a^2}{R}} = \frac{a^2}{R \left(1 - \frac{a^2}{R^2}\right)} = \frac{d_1}{(1 - \beta^2)} \quad (\text{A.20})$$

$$\begin{aligned} Q_3 &= -\frac{a}{R - d_1} \cdot Q'_2 = -\frac{a}{R - \frac{a^2}{R}} \cdot (-\beta Q_1) = \frac{\frac{a}{R}}{1 - \frac{a^2}{R^2}} \cdot \beta Q_1 \\ &= \frac{\beta^2}{1 - \beta^2} \cdot Q_1 \end{aligned} \quad (\text{A.21})$$

Dalšími podobnými kroky umístíme další náboje.

Umístění náboje Q'_3 a Q'_4

Náboj $Q'_3 = -Q_3$ a je umístěn do vzdálenosti d_2 od náboje Q'_1 . Pro náboj Q'_4 platí

$$\begin{aligned} d_3 &= \frac{a^2}{R - d_2} = \frac{a^2}{R - \frac{a^2}{R - \frac{a^2}{R}}} \cdot \frac{\frac{1}{R}}{\frac{1}{R}} = \frac{d_1}{1 - \frac{a^2}{R \left(R - \frac{a^2}{R}\right)}} = \frac{d_1}{1 - \frac{a^2}{R^2 \left(1 - \frac{a^2}{R^2}\right)}} = \\ &= \frac{d_1}{1 - \frac{\beta^2}{1 - \beta^2}} \end{aligned} \quad (\text{A.22})$$

$$\begin{aligned} Q'_4 &= -\frac{a}{R - d_2} \cdot Q_3 = -\frac{a}{R - \frac{a^2}{R - \frac{a^2}{R}}} \cdot \frac{\beta^2 Q_1}{1 - \beta^2} = -\frac{\beta}{1 - \frac{a^2}{R^2 \left(1 - \frac{a^2}{R^2}\right)}} \cdot \frac{\beta^2 Q_1}{1 - \beta^2} = \\ &= -\frac{\beta}{1 - \frac{\beta^2}{1 - \beta^2}} \cdot \frac{\beta^2 Q_1}{1 - \beta^2} = -\frac{\beta^3}{1 - 2\beta^2} \cdot Q_1 \end{aligned} \quad (\text{A.23})$$

Umístění náboje Q_4 a Q_5 a dalších

Podobně umístíme i další náboje

$$\begin{aligned}
d_4 &= \frac{a^2}{R - d_3} = \frac{a^2}{R - \frac{a^2}{R - \frac{a^2}{R - \frac{a^2}{R}}}} = \frac{a^2}{R - \frac{a^2}{R - \frac{a^2}{R(1 - \frac{a^2}{R^2})}}} = \\
&= \frac{a^2}{R - \frac{a^2}{R(1 - \frac{\beta^2}{1 - \beta^2})}} = \frac{a^2}{R \left(1 - \frac{\beta^2}{1 - \beta^2}\right)} = \\
&= \frac{d_1}{1 - \frac{\beta^2}{1 - \beta^2}} \tag{A.24}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Q_5 &= -\frac{a}{R - d_3} \cdot Q'_4 = -\frac{a}{R - \frac{a^2}{R - \frac{a^2}{R}}} \cdot Q'_4 = \\
&= -\frac{\beta}{1 - \frac{\beta^2}{1 - \beta^2}} \cdot Q'_4 = -\frac{\beta}{1 - \frac{\beta^2(1 - \beta^2)}{1 - 2\beta^2}} \cdot \left(-\frac{\beta^3}{1 - 2\beta^2}\right) \cdot Q_1 = \\
&= \frac{\beta^4}{1 - 3\beta^2 + \beta^4} \cdot Q_1 \tag{A.25}
\end{aligned}$$

Pro vzdálenosti se tedy rovnice již vyvíjí poměrně jednoduše, např.

$$d_5 = \frac{d_1}{1 - \frac{\beta^2}{1 - \frac{\beta^2}{1 - \beta^2}}}. \tag{A.26}$$

Pro velikosti nábojů je však situace stále komplikovaná a pro další náboj v řadě dostáváme

$$\begin{aligned}
Q'_6 &= -\frac{a}{R - d_5} \cdot Q_5 = -\frac{a}{R - \frac{a^2}{R - \frac{a^2}{R - \frac{a^2}{R}}}} \cdot Q_5 = -\frac{\beta}{1 - \frac{\beta^2}{1 - \frac{\beta^2}{1 - \beta^2}}} \cdot Q_5 = \\
&= -\frac{\beta}{1 - \frac{\beta^2}{1 - \frac{\beta^2(1 - \beta^2)}{1 - 2\beta^3}}} \cdot Q_5 = -\frac{\beta}{1 - \frac{\beta^2}{1 - \frac{1 - 3\beta^2 + \beta^4}{1 - 2\beta^2}}} \cdot \frac{\beta^4}{1 - 3\beta^2 + \beta^4} \cdot Q_1 = \\
&= -\frac{\beta^5}{1 - 4\beta^2 + 3\beta^4} \cdot Q_1 \tag{A.27}
\end{aligned}$$

Podobně bychom mohli pokračovat i dále.

Nakonec tedy získáme velikosti jednotlivých nábojů i jejich polohu:

$$\begin{aligned}
Q_1 &= Q'_1, \\
Q_2 &= Q'_2 = \beta Q_1, \\
Q_3 &= Q'_3 = \beta^2 Q_1 \cdot (1 - \beta^2)^{-1}, \\
Q_4 &= Q'_4 = -\beta^3 Q_1 \cdot (1 - 2\beta^2)^{-1}, \\
Q_5 &= Q'_5 = \beta^4 Q_1 \cdot (1 - 3\beta^2 + \beta^4)^{-1}, \text{ atd.}
\end{aligned} \tag{A.28}$$

$$\begin{aligned}
d_1 &= a^2 \cdot R^{-1}, \\
d_2 &= d_1 \cdot (1 - \beta^2)^{-1}, \\
d_3 &= d_1 \cdot \left[1 - \beta^2 \cdot (1 - \beta^2)^{-1} \right]^{-1} \\
d_4 &= d_1 \cdot \left(1 - \beta^2 \cdot \left[1 - \beta^2 \cdot (1 - \beta^2)^{-1} \right]^{-1} \right)^{-1},
\end{aligned} \tag{A.29}$$

kde a je poloměr koule, R je vzdálenost jejich středů a $\beta = a/R$. Náboj na každé z koulí s povrchem S a S' je dán součtem nábojů, které jsou plochou uzavřeny, tedy

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots \tag{A.30}$$

Dosazení do rovnice (A.30) za jednotlivé náboje (A.28) získáváme vztah

$$\frac{Q}{Q_1} = 1 - \beta + \frac{\beta^2}{1 - \beta^2} - \frac{\beta^3}{1 - 2\beta^2} + \frac{\beta^4}{1 - 3\beta^2 + \beta^4} - \frac{\beta^5}{1 - 4\beta^2 + 3\beta^4} + \dots \tag{A.31}$$

Jelikož je $\beta < 1$ může být každý ze sčítanců řady (A.31) rozvinut do řady pomocí binomického rozvoje

$$\begin{aligned}
\frac{\beta^2}{1-\beta^2} &= \beta^2 (1 + \beta^2 + \beta^4 + \beta^6 + \beta^8 + \dots) \\
\frac{-\beta^3}{1-2\beta^2} &= -\beta^3 (1 + 2\beta^2 + 4\beta^4 + 6\beta^6 + \dots) \\
\frac{\beta^4}{1-(3\beta^2-\beta^4)} &= \beta^4 (1 + 3\beta^2 - \beta^4 + 9\beta^4 - 6\beta^6 + \beta^8 - \dots) \\
\frac{-\beta^5}{1-(4\beta^2-3\beta^4)} &= -\beta^5 (1 + 4\beta^2 - 3\beta^4 + 16\beta^4 - 24\beta^6 + 9\beta^8 - \dots) \\
\frac{\beta^6}{1-(5\beta^2-6\beta^4+\beta^6)} &= \beta^6 (1 + 5\beta^2 - 6\beta^4 + \beta^6 \dots) \\
\frac{-\beta^7}{1-(6\beta^2-10\beta^4+4\beta^6)} &= -\beta^7 (1 + 6\beta^2 - 10\beta^4 + \dots)
\end{aligned} \tag{A.32}$$

Dosazením rozvoju (A.32) zpět do řady (A.31) získáme rovnici

$$\frac{Q}{Q_1} = 1 - \beta + \beta^2 - \beta^3 + 2\beta^4 - 3\beta^5 + 5\beta^6 - 9\beta^7 + \dots \tag{A.33}$$

Náboje jsme rozmísťovali tak, aby velikost elektrického potenciálu kulové plochy S i S' byla dána nábojem v jejím středu, tedy

$$\varphi = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon a}. \tag{A.34}$$

kombinací rovnice (A.34) a rovnice (A.33) dostáváme vztah pro potenciál koule v závislosti na celkovém náboji na kouli povrchu koule

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q}{a} [1 - (\beta - \beta^2 + \beta^3 - 2\beta^4 + 3\beta^5 - 5\beta^6 + 9\beta^7)]^{-1} \tag{A.35}$$

Pomocí rozvoje dle binomické věty můžeme vztah (A.35) opět přepsat. Označme $(\beta - \beta^2 + \beta^3 - 2\beta^4 + 3\beta^5 - 5\beta^6 + 9\beta^7 + \dots) = \delta$, pak

$$\begin{aligned}
\delta^2 &= \begin{pmatrix} \beta^2 & -\beta^3 & +\beta^4 & -2\beta^5 & +3\beta^6 & -5\beta^7 & +\dots \\ & -\beta^3 & +\beta^4 & -\beta^5 & +2\beta^6 & -3\beta^7 & +\dots \\ & & \beta^4 & -\beta^5 & +\beta^6 & -2\beta^7 & +\dots \\ & & & -2\beta^5 & +2\beta^6 & -2\beta^7 & +\dots \\ & & & & +3\beta^6 & -3\beta^7 & +\dots \\ & & & & & -5\beta^7 & +\dots \end{pmatrix} = \\
&= \beta^2 - 2\beta^3 + 3\beta^4 - 6\beta^5 + 11\beta^6 - 20\beta^7 + \dots \tag{A.36}
\end{aligned}$$

Podobně pro další mocniny δ

$$\begin{aligned}\delta^3 &= \beta^3 - 3\beta^4 + 6\beta^5 - 13\beta^6 + 27\beta^7 + \dots \\ \delta^4 &= \beta^4 - 4\beta^5 + 10\beta^6 - 24\beta^7 + \dots \\ \delta^5 &= \beta^5 - 5\beta^6 + 15\beta^7 + \dots \\ \delta^6 &= \beta^6 - 6\beta^7 + \dots \\ \delta^7 &= \beta^7 + \dots\end{aligned}\tag{A.37}$$

elektrický potenciál každé z koulí tak může být vyjádřen následujícím rozvojem

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q}{a} (1 + \beta - \beta^4 - \beta^6 + 2\beta^7 + \dots)\tag{A.38}$$

Práce potřebná k sestavení systému N nabitých kulových vodičů je dána jako

$$W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N Q_i \varphi_i,\tag{A.39}$$

kde Q_i je náboj na i -tém vodiči a φ_i je jeho potenciál. Pro dvě identické koule se stejným nábojem Q pak platí

$$W = Q\varphi.\tag{A.40}$$

Kombinací rovnic (A.38) a (A.40) tak dostáváme potenciální energii systému dvou nabitých koulí

$$\begin{aligned}E_p &= \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q^2}{a} (1 + \beta - \beta^4 - \beta^6 + 2\beta^7 + \dots) \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q^2}{a} \left(1 + \frac{a}{R} - \left(\frac{a}{R}\right)^4 - \left(\frac{a}{R}\right)^6 + 2\left(\frac{a}{R}\right)^7 + \dots \right)\end{aligned}\tag{A.41}$$

Odpudivá síla mezi kuličkami tak je

$$F = -\frac{dW}{dR} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q^2}{R^2} \left(1 - 4\left(\frac{a}{R}\right)^3 - 6\left(\frac{a}{R}\right)^5 + 14\left(\frac{a}{R}\right)^6 + \dots \right)\tag{A.42}$$

Je patrné, že korekční člen hraje menší roli, pokud je poměr poloměru kuliček ku jejich vzdálenosti $\frac{a}{R}$ malý. Tedy, pokud by se jednalo o malé kuličky ve velké

vzdálenosti (resp. ideálně bodové náboje), přejde rovnice (A.42) zpět v „klasický“ vztah označovaný jako Coulombův zákon. V sestavení experimentu, jak jej používáme v IFL postačuje pouze první korekční člen a proto bude dále uvažována velikost působící síly mezi dvěma identickými kuličkami o poloměru a , s nábojem Q ve vzdálenosti středů R jako

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q^2}{R^2} \left(1 - 4 \left(\frac{a}{R} \right)^3 \right) \quad (\text{A.43})$$

B. Popis dalších experimentů

V této části přílohy jsou zařazeny další experimenty, které byly v rámci disertační práce připraveny pro IFL. Kompletní soubor připravených experimentů doplňují webové stránky [68] (uložené rovněž v příloze na CD), které se věnují tematickému celku *Magnetické pole solenoidu* (viz podkapitola 7.4). Při popisu experimentů je držena stejná struktura jako v kapitole 8. Za stručným úvodem je popsána teorie¹ příslušící k danému experimentu. Následuje popis aparatury a principu měření, výsledky měření a shrnutí doplněné o zkušenosti získané při používání daného experimentu v IFL.

¹Při popisu teorie jsou standardně používány známé vztahy z klasických vysokoškolských a středoškolských učebnic. Tyto považuji za obecně známé a jejich citování za bezpředmětné. Z toho důvodu u nich zdroje neuvádím.

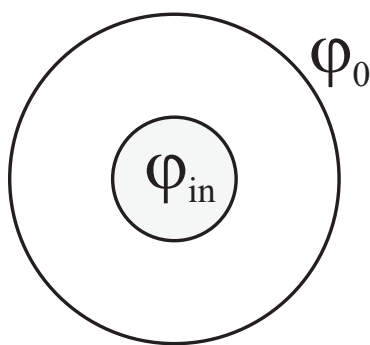
B.1 Ověření Coulombova zákona pomocí Faradayovy klece

Přesnější metodou, kterou můžeme při ověření Coulombova zákona zvolit, je nepostupovat přímo a nesledovat, jak se mění velikost působící síly v závislosti na vzdálenosti, ale ověřit některý z důsledků, které z Coulombova zákona (8.1) plynou. Jedním z teoreticky odvoditelných poznatků je zjištění, že elektrický potenciál uvnitř dutého vodiče je stejný jako na jeho povrchu. Tento fakt plyne přímo z nepřímé úměrnosti mezi velikostí působící síly a kvadrátem vzdálenosti bodových nábojů. Z historického hlediska bychom tento typ experimentu mohli považovat za podobný Cavendishovu experimentu. V minulosti byly provedeny samozřejmě i další experimenty prověřující zmíněnou závislost (viz tabulka B.1).

Cílem tohoto experimentu je prokázat platnost Coulombova zákona s větší přesností než v předchozím experimentu. Toho dosáhneme tím, že budeme ověřovat, že uvnitř Faradayovy klece je intenzita elektrického pole nulová, resp. jeho potenciál je stejný jako na povrchu.

Tento experiment jsme společně s doc. Dvořákem prezentovali na konferenci GIREP-ICPE-MPTL 2010 v Remeši [100].

B.1.1 Teorie



Obrázek B.1: Potenciály uvnitř a na povrchu koule.

Budeme-li předpokládat, že velikost elektrické síly se mění se vzdáleností jako $r^{2+\epsilon}$, pak jsme schopni pro sférickou symetrii analyticky spočítat rozdíl mezi elektrickým potenciálem na povrchu vodivé sféry φ_0 a uvnitř φ_{in} přibližně jako²

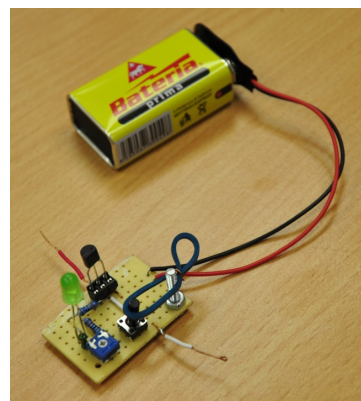
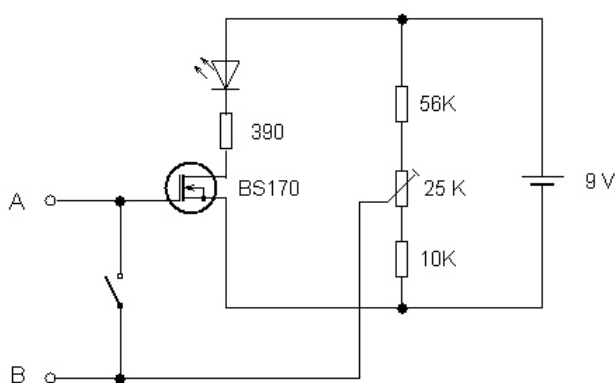
²Přesná hodnota koeficientu v daném vztahu závisí na poměru poloměrů vnější a vnitřní sféry. Do poloměru vnitřní koule $0,7R$ (poloměru vnější) je koeficient v absolutní hodnotě přibližně mezi $0,2$ a $0,3$.

$$\varphi_{\text{in}} - \varphi_0 \doteq -0,2 \cdot \epsilon \cdot \varphi_0, \quad (\text{B.1})$$

kde ϵ představuje odchylku od předpokládaného exponentu vzdálenosti v Coulombově zákonu.

B.1.2 Aparatura a princip měření

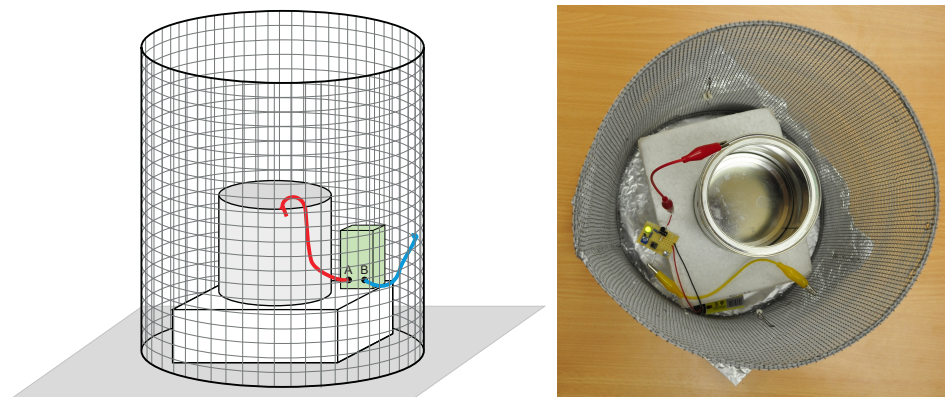
Experiment byl proveden s Faradyovou klecí, která je běžně užívána k experimentům na středních a základních školách. Ukázalo se však, že se elektrické pole až příliš snadno „dostává“ do klece. Z toho důvodu byla klec navíc obalena alobalem, ve kterém byl ponechán pouze malý otvor, aby bylo možné pozorovat detektor uvnitř klece.



Obrázek B.2: Detektor rozdílu potenciálů s FET. Vlevo schéma. Vpravo skutečnost.

Detektor obsahoval jakožto nejdůležitější prvek polem řízený tranzistor (FET) a pro indikaci rozdílu potenciálu mezi kontakty (A a B) byla použita LED. Detektor připravíme k měření tak, že spojíme svorky (A a B) a pomocí potenciometru nastavíme LED na „střední“ intenzitu, tak abychom mohli detekovat pohasínání i větší rozsvěcení. Pomocí změny jasu LED pak poznáme, že mezi kontakty je nenulové napětí. Během testování se podařilo prokázat, že citlivost našeho detektoru je lepší než 50 mV.

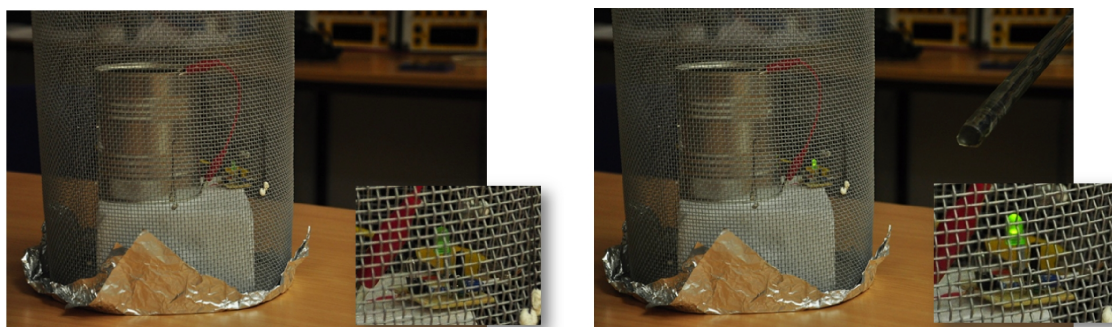
Detektor byl společně s devítivoltovou baterií vložen do Faradayovy klece tak, že jedna svorka byla připevněna ke kleci, druhá k plechovce umístěné společně s detektorem na polystyrénové podložce.



Obrázek B.3: Sestavení experimentu.

B.1.3 Výsledky měření

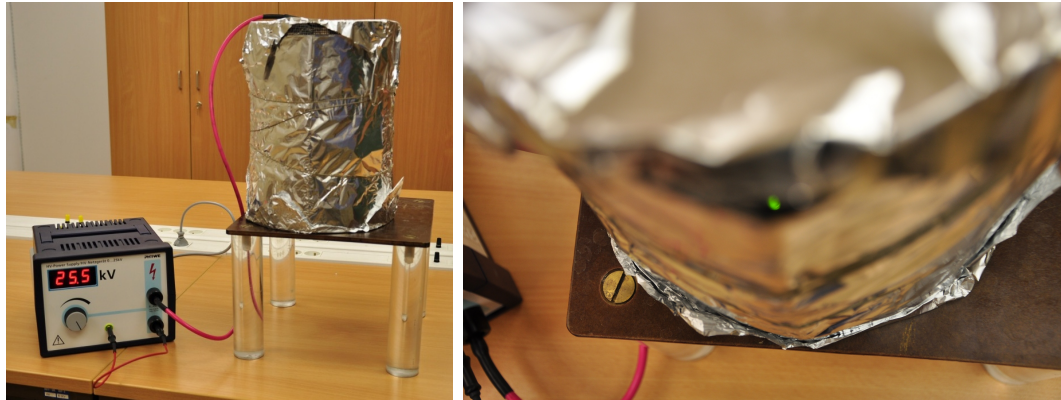
První měření probíhala s odkrytou Faradayovou klecí. Nejprve jsme zkoušeli přibližovat a oddalovat nabitou skleněnou tyč. Na obrázcích je patrné, jak se mění jas LED v případě, kdy je tyč daleko, a když je tyč blízko.



Obrázek B.4: Detekce elektrického pole uvnitř Faradayovy klece. Na obrázku vlevo je nabitá tyč daleko, na obrázku vpravo je blízko klece.

Z obrázku B.4 je tedy patrné, že tato Faradayova klec není příliš dokonalá a elektrické pole „proniká“ do ní. Z toho důvodu bylo nutné klec vylepšit. To bylo učiněno pomocí běžné hliníkové fólie, kterou byla klec obalena. V obalu byla ponechána pouze malá škvíрка, aby bylo možno pozorovat jas LED indikátoru. Následně byla klec připojena k vysokonapětovému zdroji (cca 25 kV). Schéma experimentu ukazuje obrázek B.5.

Při přivádění potenciálu byl sledován jas LED (obrázek B.5). Ten se v průběhu celého děje nezměnil, z čehož plyne, že v rámci rozlišovací schopnosti indikátoru nedošlo ke změně intenzity elektrického pole uvnitř Faradayovy klece, resp. změna potenciálu na vnitřní plechovce φ_{in} oproti povrchu klece φ_0 byla



Obrázek B.5: Faradayova klec na potenciálu 25 kV.
Vlevo: Klec připojená k vysokonapětovému zdroji.
Vpravo: Malá dírka v kleci skrze kterou bylo možné pozorovat indikátor.

$$|\varphi_{\text{in}} - \varphi_0| \leq 50 \text{ mV}. \quad (\text{B.2})$$

Úpravou rovnice (B.1), znalosti potenciálu $\varphi_0 = 25 \text{ kV}$ a dosazením z (B.2) je možné určit velikost nepřesnosti tohoto ověření Coulombova zákona ϵ

$$|\epsilon| = 5 \cdot \frac{|\varphi_{\text{in}} - \varphi_0|}{\varphi_0} \leq 5 \cdot \frac{50 \cdot 10^{-3}}{25 \cdot 10^3} = 10^{-5}. \quad (\text{B.3})$$

Nepřesnost původního tvrzení, že v Coulombově zákoně závisí elektrická síla na $1/r^2$, je maximálně 10^{-5} . To v porovnání s historickými experimenty (tabulka B.1) není vůbec špatný výsledek, neboť se jedná o přibližně pětikrát lepší potvrzení než kterého docílil J. C. Maxwell a mnohem lepší než kterého docílil H. Cavendish. Na druhou stranu není možné srovnávat výsledek tohoto experimentu s precizním ověřováním Coulombova zákona z 20. století. V daných případech se však jednalo o nákladné experimenty, které by se i díky svým rozměrům těžko mohly ujmout ve školním prostředí.

Experimentátoři	Rok	Nepřesnost
H. Cavendish	1772	$ \epsilon < 0,02$
J. C. Maxwell	~ 1872	$ \epsilon < 5 \cdot 10^{-5}$
Plimpton a Lawton	1936	$ \epsilon < 2 \cdot 10^{-10}$
Williams, Faller, Hill	1971	$ \epsilon < (2,7 \pm 3,1) \cdot 10^{-16}$

Tabulka B.1: Srovnání nepřesností historických experimentů potvrzujících závislost $1/r^2$ v Coulombově zákoně. [101]

B.1.4 Shrnutí a zkušenosti

I když tento pokus s vysokou přesností potvrzuje závislost mezi elektrickou silou nabitých těles a jejich vzdáleností, danou Coulombových zákonem, na základě vlastních zkušeností se domnívám, že pro běžné studenty na střední škole by byl příliš náročný a to především logikou postupu, který je zde zvolen. Pokus vyžaduje hlubší pochopení elektrostatických jevů a elektrostatického pole a je tak vhodný spíše pro pokročilejší studenty s hlubším zájmem o fyziku navštěvující fyzikální seminář, případně pro studenty bakalářského studia na VŠ.

B.2 Elektrická intenzita v okolí nabitého kulového vodiče

Ve středoškolské fyzice (viz např. [32] a [87]) se studenti nesetkávají jen s elektrickou silou, ale bývá jim představena i elektrická intenzita a elektrický potenciál, jakožto veličiny popisující elektrické pole. Blíže se pak (i když většinou jen teoreticky) seznámí s popisem radiálního pole v okolí bodových nábojů, popřípadě kulových nabitých těles; a popisem pole homogenního. Z definic těchto veličin a známého Coulombova zákona jsou odvozeny rovnice popisující právě zmíněná pole. Pro IFL byly vybrány a připraveny experimenty tak, aby studenti mohli sami ověřit vztahy, které znají ze školy.

Cílem této kapitoly je prozkoumat vztah pro výpočet velikosti intenzity elektrického pole kulového vodiče v daném místě. Konkrétně budou prozkoumány dvě závislosti.

1. Závislost velikosti elektrické intenzity elektrického pole dutého kulového vodiče na celkovém elektrickém náboji koule.
2. Závislost velikosti elektrické intenzity elektrického pole dutého kulového vodiče na vzdálenosti od středu koule.

Při přípravě těchto experimentů jsem vycházel z materiálů [102], které k dané aparatuře poskytuje firma Phywe.

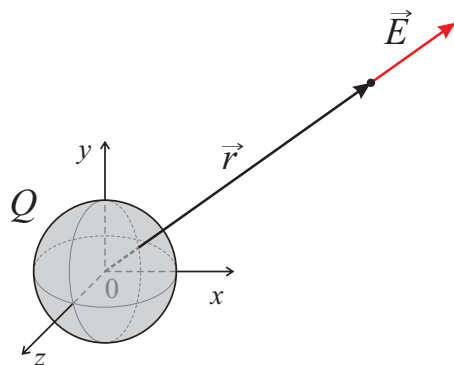
B.2.1 Teorie

Elektrická intenzita elektrického pole dutého kulového vodiče je popsána vztahem [103]

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}, \text{ pro } r \geq R, \quad (\text{B.4})$$

kde R je poloměr kulové sféry, ϵ je elektrická permitivita prostředí, ve kterém se koule nachází, Q je celkový náboj koule, \vec{r} je polohový vektor místa v němž určujeme elektrickou intenzitu, r pak jeho velikost, přičemž počátek souřadného systému volíme ve středu koule (obrázek B.6). Z rovnice (B.4) plyne, že pokud je náboj kladný, míří vektor elektrické intenzity od středu koule, je-li naopak náboj záporný, míří vektor elektrické do středu koule.

Velikost elektrické intenzity v daném místě pak počítáme jako

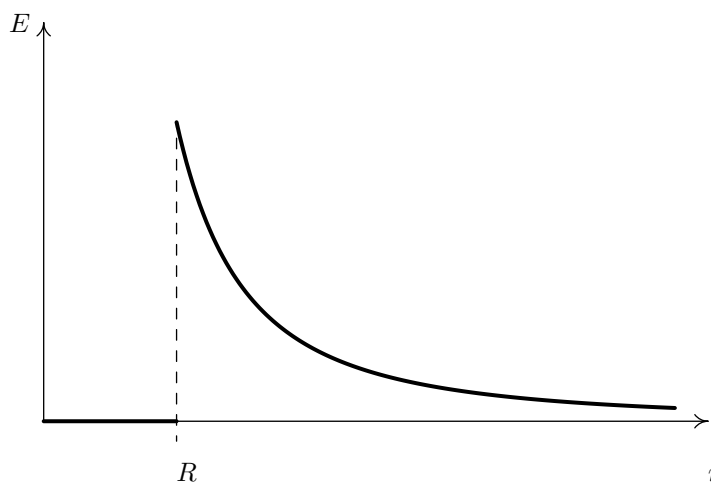


Obrázek B.6: Elektrická intenzita nabité koule.

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{|Q|}{r^2}, \text{ pro } r \geq R. \quad (\text{B.5})$$

Pokud je $r < R$, tedy je-li místo, ve kterém elektrickou intenzitu určujeme, uvnitř koule, je $E = 0 \text{ V/m}$.

Celý průběh elektrické intenzity v závislosti na vzdálenosti od středu koule r popsany teorií je zachycen na grafu B.7.



Obrázek B.7: Průběh elektrické intenzity nabitého dutého kulového vodiče.

Nabíjení koule

Vodič bývá při výuce nabíjen pomocí vysokonapěťového zdroje. Velikost náboje na osamoceném vodiči pak závisí na jeho kapacitě C a příslušném elektrickém potenciálu φ jako $Q = C\varphi$. V případě osamoceného kulového vodiče poloměru R lze velikost náboje na jeho povrchu vyjádřit jako

$$Q = 4\pi\epsilon R\varphi, \quad (\text{B.6})$$

kde ϵ je permitivita prostředí, ve kterém se koule nachází.

Vodič v elektrickém poli

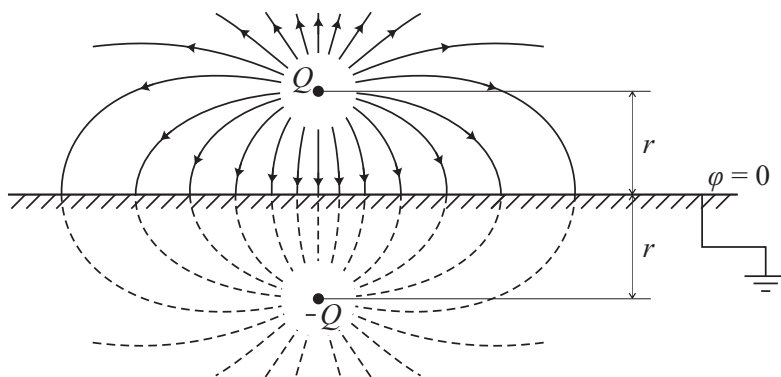
Pokud umístíme vodič do elektrického pole, bude na jeho povrchu indukován elektrický náboj. Plošná hustota σ tohoto náboje je úměrná normálové složce E_n zkoumané intenzity elektrického pole \vec{E}_0 .

$$\sigma = \epsilon \cdot E_n, \quad \text{kde } \epsilon \text{ je elektrická permitivita prostředí.} \quad (\text{B.7})$$

Jelikož je intenzita elektrického pole na povrchu vodiče k tomuto povrchu kolmá, platí $E_n = E_0$.

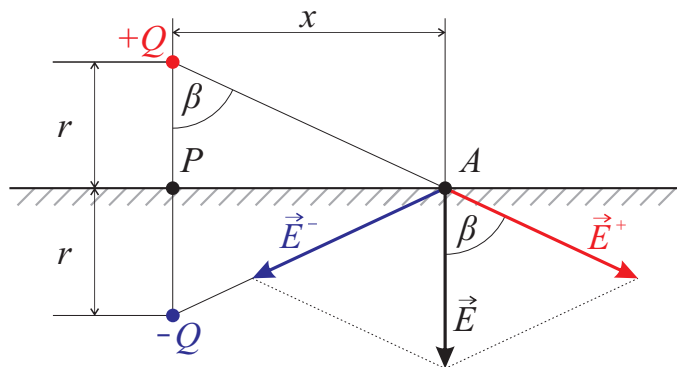
Indukovaný elektrický náboj je však rovněž zdrojem elektrického pole, které se skládá s polem původním. Elektrická intenzita výsledného elektrického pole je pak dána součtem původního elektrického pole a pole indukovaného náboje na vodiči.

Pro případ **bodového náboje** Q ve vzdálenosti r od vodivé uzemněné roviny³ můžeme snadno určit plošnou hustotu náboje na desce i elektrickou intenzitu na jejím povrchu. Úloha se tradičně řeší metodou elektrostatického zobrazení [103]. Abychom vyřešili Laplaceovu rovnici $\Delta\varphi = 0$ s okrajovou podmínkou $\varphi = 0$ ve všech bodech roviny, klademe „zdánlivý“ náboj $-Q$ souměrně k náboji Q podle dané roviny. Průběh siločar výsledného pole je kvalitativně zachycen na obrázku B.8.



Obrázek B.8: Kvalitativní zobrazení elektrického pole mezi bodovým nábojem a vodivou rovinou. Použita metoda elektrostatického zobrazení.

³Popis této situace vychází z úlohy *Bodový náboj a vodivá rovina* řešené v [103].



Obrázek B.9: K určení elektrické intenzity na povrchu vodivé desky v jejíž blízkosti se nachází bodový náboj Q .

Intenzita elektrického pole v daném místě A na povrchu roviny (obrázek B.9) je dána vztahem

$$E = -\frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{2Q}{r^2 + x^2} \cdot \cos \beta = -\frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{2Qr}{(r^2 + x^2)^{3/2}}, \quad (\text{B.8})$$

kde x je vzdálenost od paty kolmice spuštěné z bodového náboje Q k rovině.

Velikost elektrické intenzity přímo v místě paty kolmice P (pro $x = 0$) je dle (B.8)

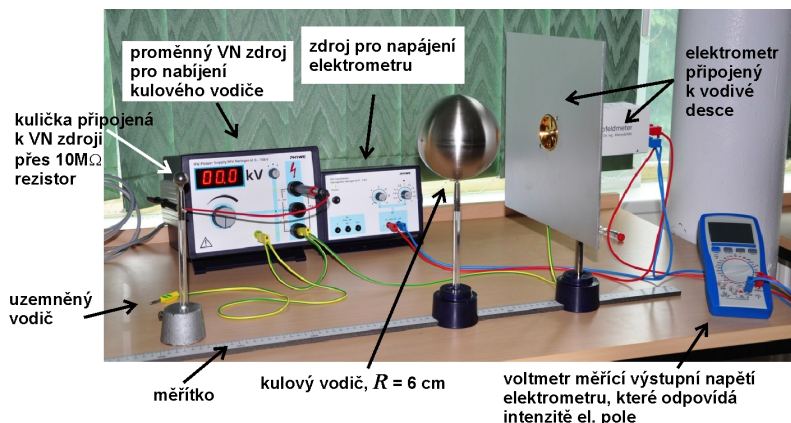
$$E = -\frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{2Q}{r^2}. \quad (\text{B.9})$$

B.2.2 Aparatura a princip měření

Pro měření byl zvolen systém, který dodává firma Phywe. Aparatura sestává ze zdroje vysokého napětí, několika kovových koulí o různých průměrech, které je možno připevnit na izolované stojánky, dřevěného metru, voltmetru, stejnosměrného regulovatelného zdroje 12 V a „měřiče elektrického pole“⁴. (Dále může být označován zkratkou MEP.)

Nejzajímavější součástí aparatury je měřič elektrického pole. Princip, jakým měří intenzitu, nemusí být na první pohled jasný. Jedná se o „krabičku“ (obrázek B.11), ze které uživatel vidí pouze přední otvor (8), ve kterém je zabudována zlatá vrtulka, jedno tlačítko pro změnu rozsahu měření (6), potenciometr pro kalibraci nulové hladiny intenzity (3), dvě zdířky pro napájecí napětí (5) a dvě zdířky pro výstupní napětí (3). Pro studenty tak představuje podobně jako většina dnešních elektronických zařízení černou skříňku, která plní požadovanou funkci.

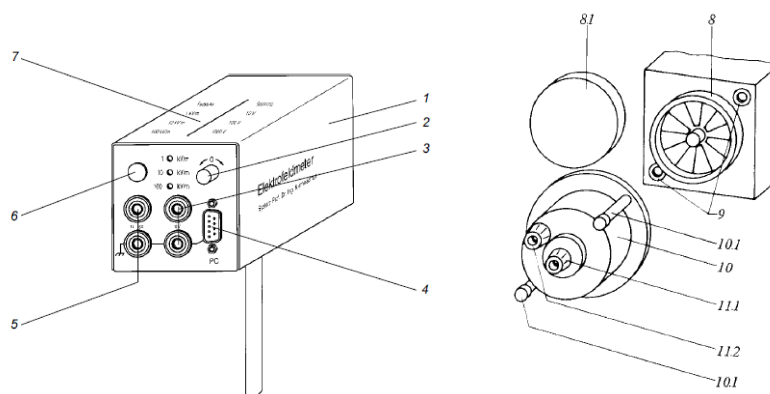
⁴V originále Eletrofeldmeter. Ustálený český překlad není znám.



Obrázek B.10: Aparatura pro zkoumání závislosti elektrické intenzity pole kulového nabitého vodiče v závislosti na vzdálenosti.

Měřič elektrického pole (MEP)

Princip měření částečně popisuje například technická dokumentace [104] dodávaná společně s přístrojem a to takto: Fungování zařízení je založeno na faktu, že na povrchu vodiče vloženém v elektrickém poli jsou indukovány elektrické náboje.



Obrázek B.11: Měřič elektrického pole a jeho součásti. Zdroj obrázku [104].

Zlatá plochá elektroda (obrázek B.11 - (8)) se šesti sektory tvoří sondu přístroje. Pro měřicí účely je tok elektrického pole periodicky přerušován vrtulkou, která se otáčí v blízkosti elektrody. V závislosti na úhlu otočení vrtulky je tok intenzity elektrického pole různě stíněn, takže se opakovaně mění mezi svojí maximální a minimální hodnotou. Díky tomu se na elektrodě mění plošná hustota indukovaného elektrického náboje.

Elektroda je propojena s uzemněnou částí přístroje přes rezistor s velkým odporem. Střídání plošné hustoty indukovaného náboje pak způsobuje periodické pulzy napětí mezi elektrodou a zemí. Amplituda tohoto proměnného napětí je úměrná

intenzitě zkoumaného elektrického pole. Takto získané napětí je přivedeno na elektronický obvod, který je zkonstruován tak, že dává na výstupu stejnosměrné napětí úměrné amplitudě pulzů a tedy i intenzitě zkoumaného elektrického pole.

Měření intenzity elektrického pole koule

Pro měření \vec{E} v okolí nabitě koule se na MEP připevní čtvercová hliníková deska s otvorem uprostřed, která je prostřednictvím těla přístroje uzemněna. Detektor se tak ocitne uprostřed uzemněné vodivé desky. A jak již bylo odvozeno v části teorie, nebudeme tak měřit přímo elektrickou intenzitu osamoceného nabitě kulového vodiče, ale elektrickou intenzitu výsledného elektrického pole, která je dána rovnicí (B.9) a je v porovnání s velikostí intenzity elektrického pole osamoceně koule dvojnásobná.

Ověření závislosti $E(Q)$

Kouli nabíjíme pomocí vysokonapěťového zdroje. Velikost náboje Q na kouli je podle vztahu (B.6) přímo úměrná velikosti elektrického potenciálu φ , na který je přiveden. Z toho důvodu není třeba zkoumat přímo závislost $E(Q)$ a namísto toho budeme zkoumat závislost velikosti elektrické intenzity na potenciálu koule, resp. napětí U , na které byla koule proti zemi přivedena⁵. Rovnici popisující tuto závislost získáme kombinací vztahů (B.6) do (B.9).

$$E = \frac{2R}{r^2}U \quad (\text{B.10})$$

Komentář ke způsobu nabíjení: Při samotném měření je nutné, aby byla koule od vysokonapěťového zdroje odpojena. Díky uzemněné desce MEP by se změnil její celkový náboj. Z toho důvodu je koule vždy nabita ve větší vzdálenosti od MEP, odpojena od VN zdroje a následně přesunuta do požadované vzdálenosti.

Ověření závislosti $E(r)$

Při tomto experimentu zkoumáme závislost $E(r)$, jak ji popisuje vztah (B.10). Stejně jako v předchozím experimentu kouli nabijeme vysokonapěťovým zdrojem ve větší

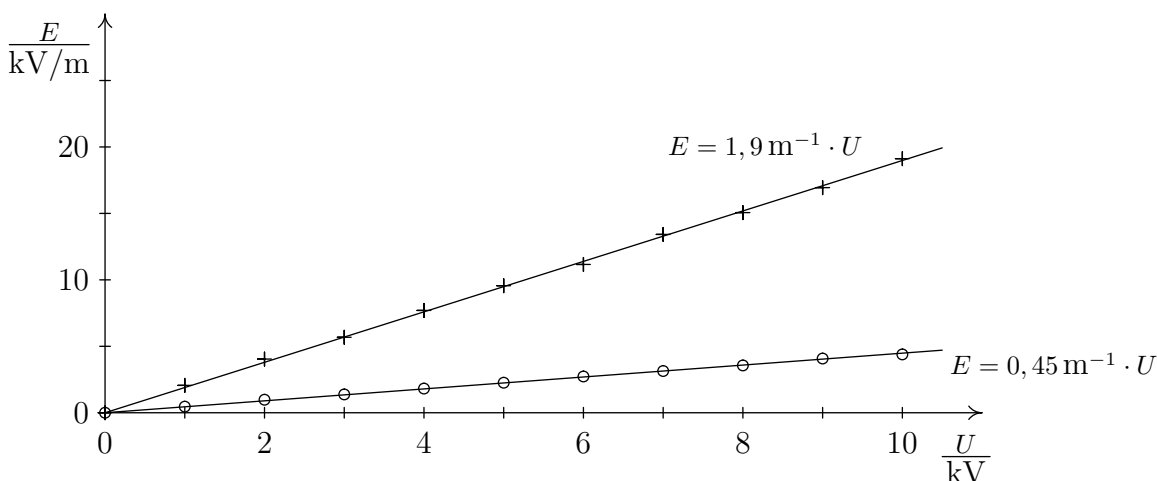
⁵K vyjádření s využitím napětí proti zemi jsem se rozhodl především z důvodu konzistentnosti a zachování přehlednosti pro studenty. K nabíjení koule používají vysokonapěťový zdroj s daným napětím. Navíc v dalším experimentu, kdy je zkoumán elektrický potenciál v okolí nabitě koule by byly dva potenciály - potenciál koule a potenciál míst v jejím okolí. Z práce se středoškolskými studenty přímo v laboratoři se ukázalo, že toto je pro některé z nich matoucí, neboť nejsou v používání těchto pojmů sběhlí. Z toho důvodu používám vyjádření, že koule byla přivedena na jisté napětí proti zemi a to se projevuje i v použitých rovnicích.

vzdálenosti od MEP. Následně měníme její polohu před MEP a zjišťujeme velikost elektrické intenzity v jednotlivých vzdálenostech.

B.2.3 Výsledky měření

Závislost velikosti elektrické intenzity na napětí koule vůči zemi (velikosti elektrického náboje)

Jak již bylo zmíněno, namísto ověřování závislosti $E(Q)$ (B.5) ověřujeme ekvivalentní vztah závislosti velikosti elektrické intenzity na napětí vůči zemi (B.10). Výsledky měření jsou zaznamenány a zpracovány v příloze E.5 na CD (tabulky E.7, E.8), vyneseny jsou v grafu B.12, ze kterého je patrné, že ve vybraných dvou vzdálenostech od středu použité koule (poloměru $R = 6$ cm) je velikost elektrické intenzity přímo úměrná napětí a tedy i náboji na kouli.



Obrázek B.12: Graf závislosti intenzity elektrického pole na napětí koule vůči zemi. + ... $R = 6$ cm, $r = 25$ cm; \bigcirc ... $R = 6$ cm, $r = 50$ cm.

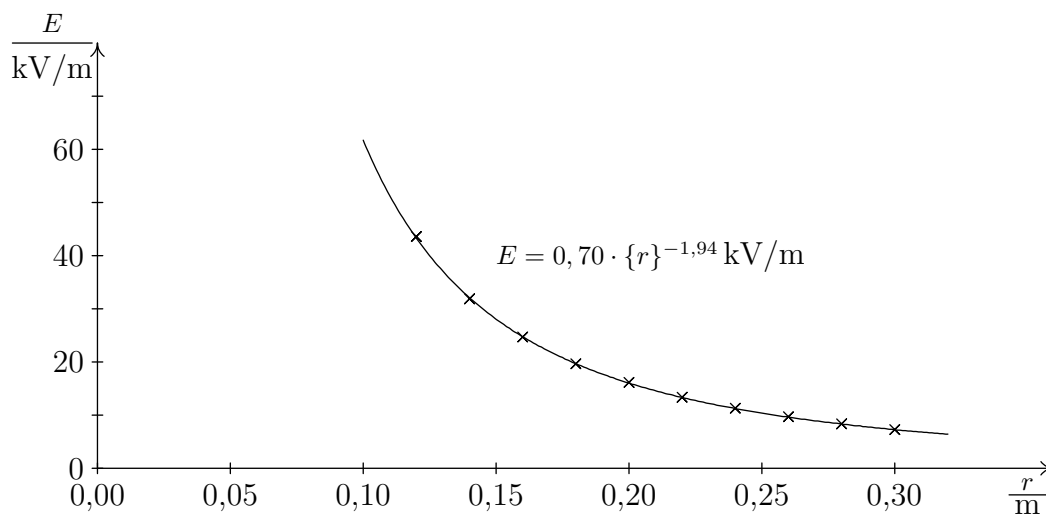
Tabulka B.2: Porovnání teoretických a experimentálně zjištěných koeficientů závislosti $E(U)$. R představuje poloměr koule, r vzdálenost ve které měříme E , k_e experimentálně určený koeficient úměrnosti, k_t teoreticky určený.

$\frac{R}{m}$	$\frac{r}{m}$	$\frac{k_t}{m^{-1}}$	$\frac{k_e}{m^{-1}}$
0,06	0,25	$1,92 \pm 0,05$	$1,9 \pm 0,1$
0,06	0,50	$0,48 \pm 0,01$	$0,45 \pm 0,04$

Pro ověření koeficientu této závislosti, tj. předpokládaného $2R/r^2$ je třeba porovnat koeficienty proložených závislostí, nazvěme je experimentálními koeficienty

k_e s koeficienty, které vychází z teorie k_t a které dopočítáme podle zmíněného vztahu použitím známých hodnot poloměru koule R a vzdálenosti středu koule a měřicího přístroje r . Příslušné hodnoty jsou uvedeny v tabulce B.2. Pohledem na tabulku zjistíme, že koeficienty se v rámci svých chyb shodují.

Závislost velikosti elektrické intenzity na vzdálenosti od středu nabitě koule



Obrázek B.13: Graf závislosti velikosti intenzity E elektrického pole nabitě koule na vzdálenosti r od jejího středu. Koule byla přivedena na napětí $U = (5,0 \pm 0,1) \text{ kV}$ vůči zemi. Poloměr použité koule byl $R = (0,060 \pm 0,001) \text{ m}$.

Měření bylo této závislosti bylo provedeno pětkrát, naměřené hodnoty shrnuje tabulka E.9 v příloze E.5 na CD a průměrné hodnoty znázorňuje graf B.13. Z proložené křivky a určeného exponentu⁶ mocninné závislosti $-1,94$ je dobře patrné, že průběh v rámci chyb měření, které se při takovémto měření zcela přirozeně pohybují do deseti procent, odpovídá nepřímé úměrnosti druhé mocniny vzdálenosti. Rovněž teoretický koeficient $2RU = 0,70 \text{ kVm}$ odpovídá v rámci chyb měření koeficientu zjištěnému z měření $(0,66 \pm 0,08) \text{ kVm}$.

⁶Při zpracování těchto údajů nevyužíváme korekce na nerovnoměrné rozložení náboje na kouli (viz kapitola A). Detektor MEP je natolik citlivý, že jej není třeba přibližovat ke kouli tak blízko. Při vzdálenostech ($r > 12 \text{ cm}$) se odchylka daná tímto efektem pohybuje v řádu maximálně jednotek procent. To je v porovnání s experimentem, jehož základem je měření sil mezi kuličkami (viz kapitola 8.1), o mnoho lepší přesnost a studenty tedy do použití korekce nenutíme.

B.2.4 Pracovní list

Tyto experimenty jsou součástí experimentální sady *Elektrostatika* a společně s experimenty *Ověření Coulombova zákona na digitálních vahách* (kapitola 8.1) a *Elektrický potenciál v okolí nabitého kulového vodiče* (kapitola B.3) je součástí jednoho stanoviště. V příloze C na straně 258 je pracovní list obsahující zadání ke všem dotčeným experimentům.

B.2.5 Shrnutí a zkušenosti

Z práce se studenty v IFL při daném experimentu vyplývá, že experiment je pro studenty náročný díky použitému vybavení, se kterým se setkávají poprvé. Především způsob, jakým je určována intenzita elektrického pole, je pro ně nezvyklý. Při měření intenzity je třeba studenty zkontrolovat, zda správně používají různé rozsahy detektoru.

Jedná se však o experiment, který funguje spolehlivě a různé skupiny studentů dosahují výsledků srovnatelných s těmi, které jsou prezentovány v této práci.

B.3 Elektrický potenciál v okolí nabitého kulového vodiče

Důležitou veličinou popisující elektrické pole je i elektrický potenciál. Rovněž tato veličina je obsažena v gymnaziálních osnovách, dle mého názoru především z toho důvodu, že pak pomáhá studentům lépe pochopit veličinu napětí. Ta je z mé zkušenosti pro žáky na nižším gymnáziu nebo základní škole hůře uchopitelná. Tím samozřejmě nechci říci, že bychom měli na základní škole vyučovat elektrický potenciál, naopak často používaný vodní model je dle mého názoru naprosto vhodný. Záměrem předchozích řádků je zdůraznit, že je důležité pochopení základní koncepce potenciálu, k čemuž mohou napomoci i pokusy, ve kterých budeme měřit potenciál elektrického pole.

Tato kapitola a pokusy v ní představované ověřují vztah pro popis elektrického potenciálu nabitého kulového vodiče a to především:

1. Závislost potenciálu elektrického pole na náboji kulového vodiče.
2. Závislost potenciálu elektrického pole na vzdálenosti od středu kulového vodiče.

Při přípravě těchto experimentů jsem vycházel z materiálů [102], které k dané aparatuře poskytuje firma Phywe.

B.3.1 Teorie

Teorie popisující potenciál elektrického pole je obecně známa. Například vysokoškolská publikace [103] zavádí potenciál elektrostatického pole bodových nábojů následujícím způsobem:

„Uvažme nyní skalární funkci (skalární pole) $\varphi(\vec{r})$ definovanou vztahem⁷

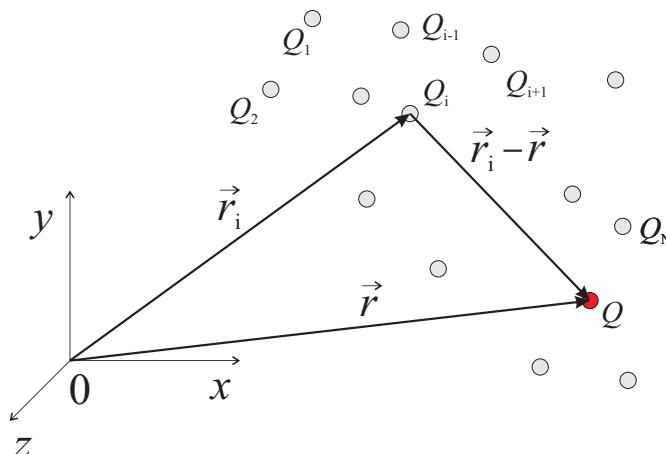
$$\varphi(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon} \sum_{i=1}^N \frac{Q_i}{|\vec{r} - \vec{r}_i|} + C, \quad (\text{B.11})$$

kde C je libovolná konstanta.“

Dále publikace [103] popisuje fyzikální význam takové funkce, její vlastnosti a je odvozen vztah pro potenciál elektrického pole vně nabitě kulové slupky

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q}{r}. \quad (\text{B.12})$$

⁷Situace, kterou popisuje rovnice B.11 zachycuje obrázek B.14.



Obrázek B.14: K zavedení elektrického potenciálu na vysoké škole

Naproti tomu pravděpodobně nejpoužívanější učebnice elektřiny a magnetismu na gymnáziích [32] začíná v případě potenciálu elektrického pole „z druhého konce“. Elektrický potenciál definuje jako podíl potenciální energie E_p bodového náboje v určitém místě elektrického pole a tohoto náboje q

$$\varphi = \frac{E_p}{q}. \quad (\text{B.13})$$

Zpětně je pak dovozen⁸ vztah (B.12) pro elektrický potenciál v okolí nabitého kulového dutého vodiče.

Oba tyto přístupy jsou pochopitelné, zatímco ve vysokoškolském kurzu se projevuje matematická preciznost, ve středoškolském přístupu zaznamenávám především snahu o zpřístupnění co nejširšímu okruhu studentů, která musí být podložena možnostmi opřít se o již získané vědomosti.

V tomto experimentu však jde především o ověření platnosti závislostí $\varphi(r)$ a $\varphi(Q)$, které popisuje rovnice (B.12). V prvním případě měříme obě veličiny přímo avšak pro závislost na náboji musíme volit jinou strategii. Namísto měření náboje budeme určovat, na jaké napětí oproti zemi byla koule přivedena. Z velikosti tohoto napětí pak můžeme určit náboj na kouli podle rovnice

$$Q = C \cdot U. \quad (\text{B.14})$$

Dosazením za náboj Q do rovnice (B.12) dostáváme upravený vztah pro potenciál elektrického pole v závislosti na napětí U přivedeného na kouli

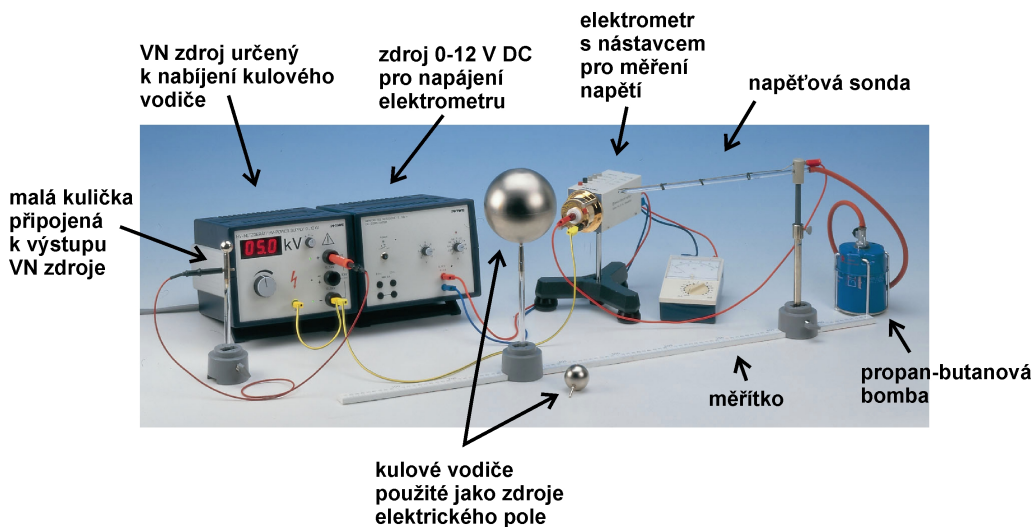
⁸Toto odvození je pouze naznačeno, jelikož, jak i učebnice uvádí, je k němu zapotřebí integrální počet. S tím nejsou studenti třetího ročníku SŠ, kde se tato látka typicky probírá, obeznámeni.

$$\varphi = \frac{C}{4\pi\epsilon r} \cdot U. \quad (\text{B.15})$$

Namísto závislosti $\varphi(Q)$ tak můžeme proměřovat závislost (B.15) $\varphi(U)$.

B.3.2 Aparatura a princip měření

Pomůcky použité pro měření jsou velice podobné experimentům zkoumajícím elektrickou intenzitu v okolí nabitě koule. Pouze měřič elektrického pole nyní stojí „stranou“, pracuje totiž v módu měření elektrického potenciálu a sonda je k němu připojena kabelem. Sestavená aparatura je zachycena na obrázku B.15. Sestava nyní funguje jako voltmetr měřící napětí mezi hrotem sondy a zemí, to tak odpovídá potenciálu elektrického pole.



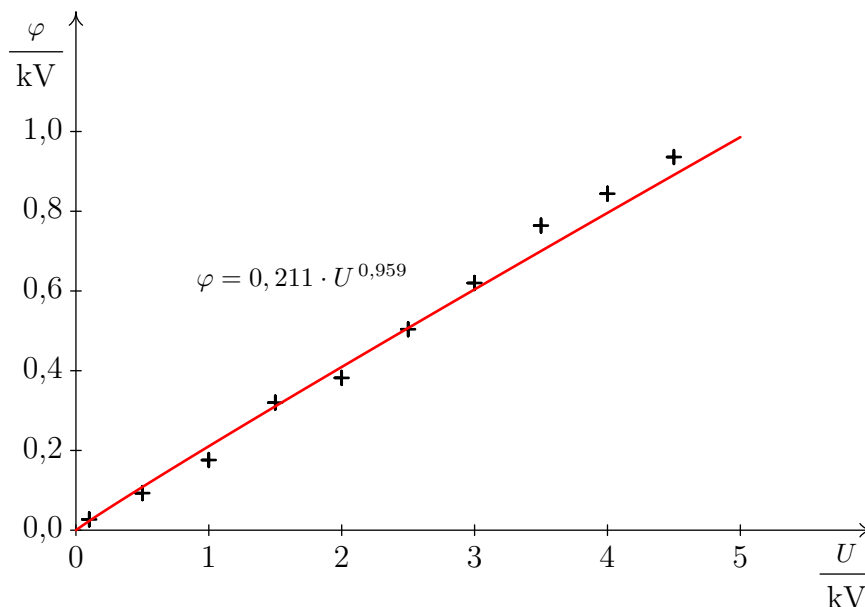
Obrázek B.15: Aparatura pro měření potenciálu elektrického pole.

B.3.3 Výsledky měření

Výsledky měření závislosti potenciálu na napětí koule proti zemi ve vzdálenosti 25 cm od středu koule shrnuje tabulka E.10 v příloze E.5 na CD. Naměřená data jsou vynesena v grafu na obrázku B.16. Vynesenými body byla v programu MS Excel proložena mocninná závislost. Ukázalo se, že relativní odchylka exponentu U ve zkoumané závislosti $\varphi(U)$ od teoretického předpokladu (B.15) je

$$\delta k_U = ((1 - 0,9593) / 1) \cdot 100 \% \doteq 4 \%. \quad (\text{B.16})$$

Výsledky měření závislosti potenciálu elektrického pole v závislosti na vzdálenosti od středu nabitě sféry byly měřeny pro dvě koule o poloměrech 2 cm a 6 cm. Koule byly přivedeny vždy na napětí 1 kV proti zemi. Výsledky měření shrnuje tabulka E.11 v příloze E.5 na CD. Data byla vynesena do grafu na obrázku B.17. Body byly v programu MS Excel proloženy dvě křivky dané mocninným předpisem. Relativní odchylky exponentů r ve zkoumané závislosti $\varphi(r)$ od teoretického předpokladu jsou $k_r^- = ((1,015 - 1) / 1) \cdot 100 \% \doteq 2 \%$ a $k_r^+ = ((1,068 - 1) / 1) \cdot 100 \% \doteq 7 \%$.



Obrázek B.16: Závislost elektrického potenciálu na napětí koule (v pevně dané vzdálenosti $r = 25$ cm). Poloměr koule 6 cm.

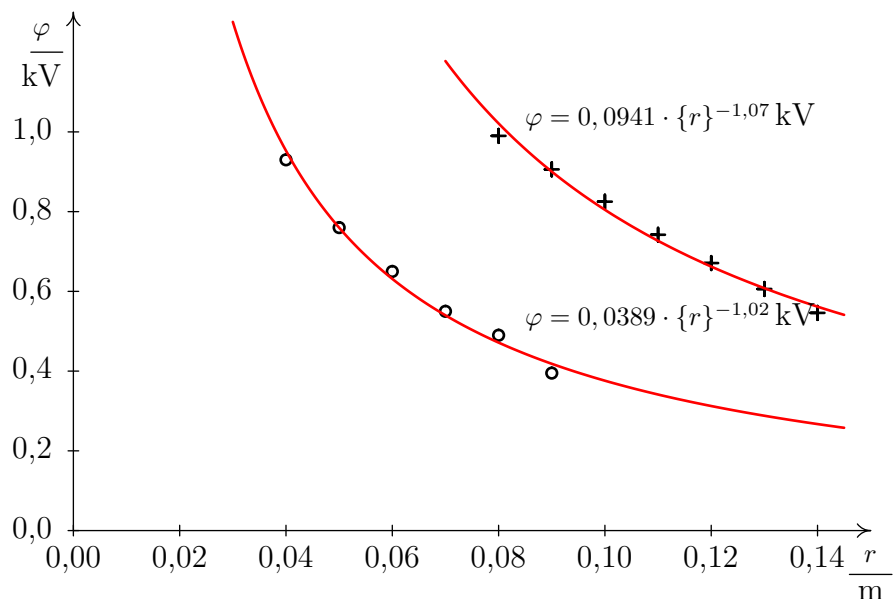
B.3.4 Pracovní list

Experiment byl připraven jako třetí část stanoviště i pracovního listu *Platí Coulombův zákon? Pole nabitě koule.* (viz strana 258) v rámci nabízeného tematického celku *Elektrostatika*.

B.3.5 Shrnutí a zkušenosti

Tento experiment je velmi citlivý na rozložení okolních těles. Především při větších vzdálenostech sondy od nabitě koule je třeba, aby byl experimentátor přibližně na stejném místě a nenarušoval tím pozadí experimentu.

Od tohoto školního roku (2015/2016) již experiment není standardní součástí programu a byl ponechán „do zálohy“. Studentům jsou na začátku distribuovány



Obrázek B.17: Závislost elektrického potenciálu na vzdálenosti od středu koule přivedené na napětí 1 kV proti zemi. Poloměr koule byl: $\circ \dots R = 2$ cm; $+$ $\dots R = 6$ cm.

pouze první dvě části pracovního listu. Třetí část věnující se elektrickému potenciálu je pak přidávána operativně pouze u skupin, které jsou dostatečně rychlé a první dvě části zvládnou brzy. Praxe z minulých let totiž ukázala, že jen velmi dobře spolupracující a připravené týmy studentů se dostaly k třetí části tohoto stanoviště.

Při práci se studenty, kteří se k tomuto měření dostali, jsem vyzoroval, že pro studenty je zajímavé to, jakým způsobem je měřen potenciál - především využití plamene pro ionizaci vzduchu v okolí konce sondy je pro ně překvapující.

B.4 Kapacita deskového kondenzátoru

Tento experiment studentům pomůže k lepšímu uchopení ve škole typicky myšlenkového modelu deskového kondenzátoru. Jistě existují další (většinou používané jako demonstrační) experimenty, které ukazují závislost kapacity deskového kondenzátoru na jeho parametrech (vzdálenost desek, velikosti účinné plochy desek, materiálu mezi deskami), nicméně tento experiment je nenáročný na vybavení. Cílem tohoto experimentu je tedy ověřit vztah (B.18) popisující závislost kapacity deskového kondenzátoru na jeho parametrech, stejně jako určit permitivitu některých materiálů (papír, sklo, ...). Konkrétně jsou dány tyto úkoly:

1. Podle návodu sestavte jednoduchý deskový kondenzátor.
2. Ověřte závislost kapacity deskového kondenzátoru
 - a. na vzdálenosti desek,
 - b. na velikosti desek.
3. Určete permitivitu papíru a skla.

Námětem pro přípravu těchto experimentů byly pracovní listy [105], [106].

B.4.1 Teorie

Kapacita vodiče je na střední škole definována jako množství náboje, které je na povrchu vodiče při jeho přivedení na potenciál jeden volt. Platí rovnice

$$C = \frac{Q}{\varphi}. \quad (\text{B.17})$$

Vyšší kapacitu než osamocený vodič má soustava vodičů. Jednou ze základních takových soustav je „spojení“ dvou rovnoběžných vodivých ploch z nichž je jedna nabíjena, druhá je uzemněna. Je-li vzdálenost desek mnohem menší než jejich rozměry, je pole mezi deskami přibližně homogenní, pro kapacitu tohoto kondenzátoru pak platí vztah

$$C = \epsilon \cdot \frac{S}{d}, \quad (\text{B.18})$$

kde ϵ je permitivita prostředí mezi deskami, S je účinná plocha desek, d je jejich vzdálenost.

B.4.2 Aparatura a princip měření

Model deskového kondenzátoru, na kterém bude měření provedeno sestavíme z hliníkové fólie, jako materiál mezi fólie může být použito sklo, papír, kancelářské obalové fólie, polystyrén, apod. Při sestavování prvního modelu použijeme jako dielektrikum listy silnější knížky.

Při měření závislosti kapacity tohoto kondenzátoru na vzdálenosti mezi fóliemi můžeme udávat vzdálenost počtem listů.

Při zkoumání závislosti kapacity kondenzátoru na ploše desek měníme účinnou plochu desek kondenzátoru posouváním jedné desky vůči druhé. Účinnou plochu mezi deskami vyjadřujeme opět poměrně vůči ploše celé fólie.

Při určování permitivity materiálu je již zapotřebí určit plochu i vzdálenost v hlavních jednotkách jednotlivých veličin, stejně jako kapacitu kondenzátoru. Pro výpočet permitivity použijeme vztah (B.18). Tímto způsobem tak získáme permitivitu různých materiálů, kterou můžeme porovnat s údaji uvedenými v MFCH tabulkách.

B.4.3 Výsledky měření

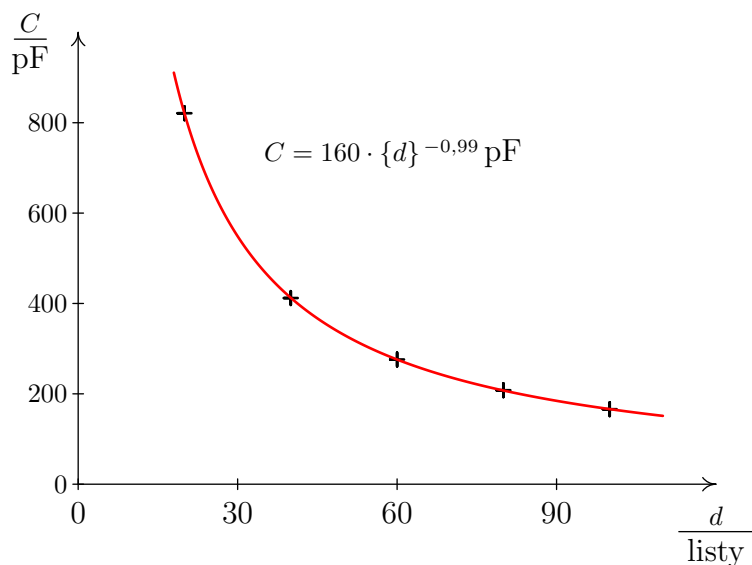
Závislost kapacity na vzdálenosti desek

Naměřená data jsou vynesena v tabulce E.12 v příloze E.5 na CD. Data byla v programu MS Excel fitována mocninnou závislostí $C = A \cdot d^B$, kde B vypovídá o charakteru dané závislosti. Z rovnice (B.18) předpokládáme, že B se bude v daném měření blížit -1 . Zjištěné exponenty jsou společně s naměřenými údaji zaznamenány v téže tabulce. Studenti měří tuto závislost „pouze“ jednou, získají tedy jednu sadu bodů a jeden graf (viz obrázek B.18).

Velikost kapacity takto vytvořeného kondenzátoru je velmi citlivá na vzdálenost mezi deskami. Stačí tak pouze zatlačit na knížku a kapacita se změní. To je patrné i z tabulky E.12 naměřených dat. Zatímco v situaci, kdy byly fólie vkládány do spodní části knížky, zjištěný exponent ($B = -0,97 \pm 0,04$) se s odchylkou do 5 % blíží ideálnímu exponentu -1 , v případě, že byly fólie vkládány do horní části knížky, odchyluje se zjištěný exponent od teoretického předpokladu o více než 10 %.

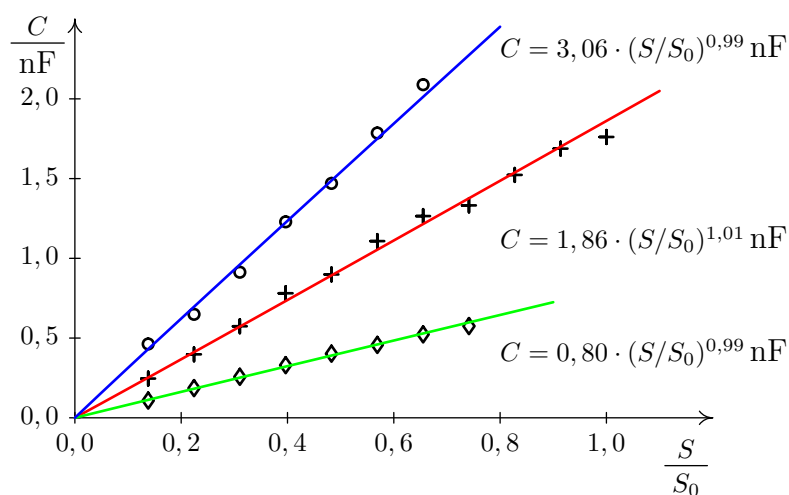
Závislost kapacity na velikosti desek

Získaná data (viz tabulka E.13 v příloze E.5 na CD) byla v programu MS Excel fitována mocninnou závislostí $C = A \cdot S^B$, kde B vypovídá o „charakteru“ dané



Obrázek B.18: Závislost kapacity kondenzátoru C na vzdálenosti mezi deskami. Vzdálenost d je vyjádřena počtem listů mezi deskami. Zdrojová data ke grafu jsou uvedena v tabulce E.12 v příloze E.5 na CD.

závislosti. Z rovnice (B.18) dojdeme k tomu, že B by se mělo blížit 1. Ukázku naměřených dat (pro různé kondenzátory) i s proloženými křivkami dává obrázek B.19. Z proložených mocninných závislostí byl zjištěn exponent $B = 1,00 \pm 0,03$, který v rámci chyby měření odpovídá předpokládanému koeficientu.



Obrázek B.19: Závislost kapacity kondenzátoru C na účinné ploše desek deskového kondenzátoru. Účinná plocha S je vyjádřena poměrně vůči maximální ploše použité desky S_0 .

Permitivita materiálu

Výše popsanou metodou byla určena relativní permitivita skla jako $\epsilon_r = 5,0 \pm 0,3$ a relativní permitivita papíru $\epsilon_r = 3,2 \pm 0,2$. MFCH tabulky [107] uvádějí, že relativní permitivita obyčejného skla se pohybuje v rozmezí 5 až 7, u papíru v rozmezí 2,0 až 2,5. U skla tedy získané výsledky odpovídají předpokladům. U papíru tomu tak je však pouze řádově. Nicméně při bližším zkoumání zjistíme, že různé zdroje uvádějí různé hodnoty relativní permitivity papíru. Například databáze [108] University Sydney udává rozmezí relativní permitivity papíru 2 až 4, tomu odpovídá i dokument [109] uvádějící rozmezí 3 až 4. Rozdíly mezi těmito rozsahy jsou jistě zapříčiněny různým typem zkoumaného papíru. Stránky [110] naznačují, že hodnota relativní permitivity přibližně 2,5 je pro tzv. kondenzátorový papír, který se svým složením výrazně liší od v tomto experimentu použitého papíru. Po těchto zjištěních je patrné, že v experimentu získanou hodnotu relativní permitivity papíru můžeme považovat za dobrý výsledek.

B.4.4 Pracovní list

Dané experimenty jsou součástí experimentální sady *Elektrostatika*, konkrétně části *Deskový kondenzátor a jak v něm měřit pole*. Tomu odpovídá i jeho zařazení do příslušného pracovního listu, ve kterém tvoří jeho úvodní část (viz příloha C, str. 270).

B.4.5 Shrnutí a zkušenosti

Experimenty s jednoduchým foliovým kondenzátorem patří z hlediska použitých pomůcek mezi méně komplikované a studentům, kteří přichází do IFL nečiní problém se v něm orientovat.

První dvě části (úkoly 1 a 2) jsou připraveny ve snaze zbavit studenty fixace na jednotky a zaměřit se především na koncept kapacity a faktory, které ji ovlivňují. Závěrečná část je zajímavá především díky tomu, že studenti pomocí velmi jednoduchých pomůcek zjišťují přibližnou hodnotu jedné ze základních charakteristik materiálu, kterou jsou doposud zvyklí hledat pouze tak, že si ji najdou v tabulkách.

B.5 Elektrická intenzita homogenního pole

V tomto experimentu je hlavním cílem prozkoumat vlastnosti elektrického pole mezi dvěma nabitými rovnoběžnými deskami (tj. uvnitř deskového kondenzátoru).

Pro experimentování v rámci IFL byly zvoleny dva hlavní cíle: Ukázat, jak závisí velikost elektrické intenzity mezi deskami na

- napětí mezi deskami,
- vzdálenosti mezi deskami.

Při přípravě těchto experimentů jsem vycházel z materiálů [111], které k dané aparatuře poskytuje firma Phywe.

B.5.1 Teorie

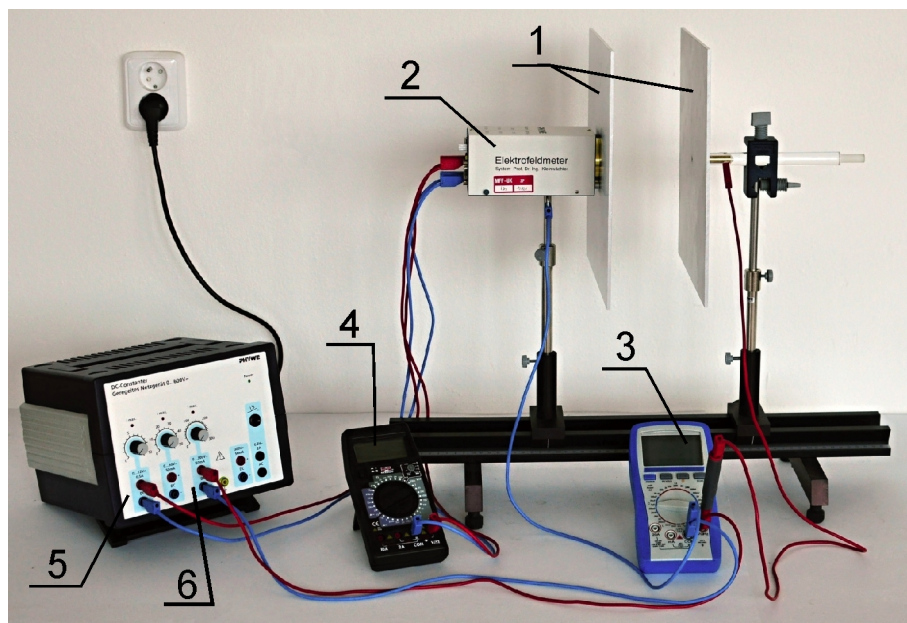
Z teorie vyplývá, že elektrická intenzita v homogenním poli je všude stejná a to jak co do velikosti, tak to co do směru. Pro její velikost platí rovnice

$$E = \frac{U}{d}, \quad (\text{B.19})$$

kde U je velikost napětí mezi deskami a d je vzdálenost desek.

B.5.2 Aparatura a princip měření

Aparatura (viz obrázek B.20) sestává ze stativu, ve kterém jsou umístěny dvě desky, přičemž ve středu jedné z nich je v kruhovém otvoru umístěna sonda (elektrometr) měřící velikost elektrické intenzity pole. Desky jsou připojeny ke zdroji stejnosměrného regulovatelného napětí 0 - 300 V. Nastavené napětí zdroje čteme na připojeném voltmetru. Deska připojená ke kladnému pólu je připojena přes ochranný odpor s elektrickým odporem 1 MΩ. K sondě je připojen voltmetr měřící výstupní napětí sondy, které je úměrné velikosti elektrické intenzity pole (přepočtení udává tabulka na těle elektrometru). Vzdálenost mezi deskami je možné měřit pomocí stupnice na stativu.



Obrázek B.20: Aparatura: 1 ... hliníkové desky kondenzátoru, 2 ... elektrometr, 3 ... voltmetr pro měření napětí mezi deskami, 4 ... voltmetr připojený k výstupu elektrometru - pro odečítání měřené intenzity, 5 ... napájení sondy, 6 ... napěťový zdroj 0 - 300 V pro vytvoření elektrického pole.

B.5.3 Výsledky měření

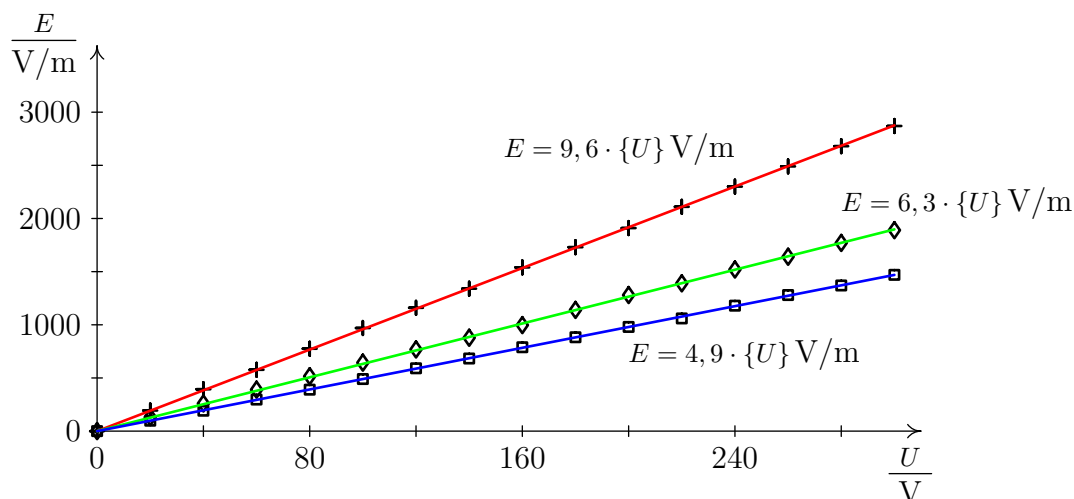
Závislost velikosti elektrické intenzity na napětí mezi deskami

Naměřené hodnoty při zkoumání závislosti elektrické intenzity mezi deskami E na napětí mezi deskami U jsou uvedeny v tabulce E.14 v příloze E.5 na CD. Měření bylo provedeno pro tři vzdálenosti desek. Data byla vynesena do grafu na obrázku B.21. Z proložených křivek, je patrné, že vynesené závislosti odpovídají přímé úměře tak, jak vyplývá ze vztahu (B.19). Zjištěné koeficienty úměrnosti rovněž v rámci chyb měření odpovídají teoretickým předpokladům⁹ pro daná nastavení experimentu.

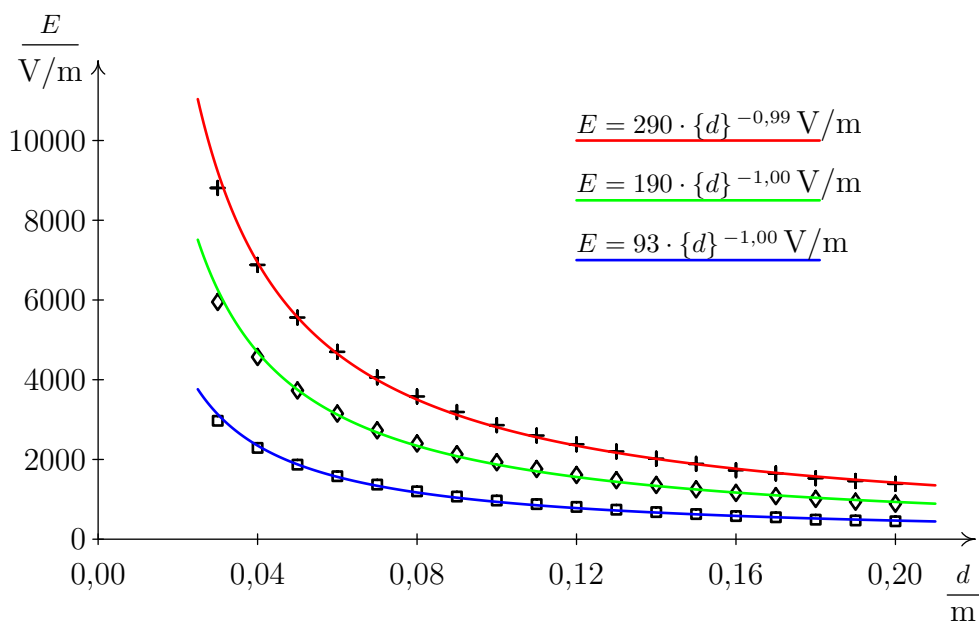
Závislost velikosti elektrické intenzity na vzdálenosti desek

Naměřené hodnoty při zkoumání závislosti elektrické intenzity mezi deskami E na jejich vzdálenosti d jsou uvedeny v tabulce E.15 v příloze E.5 na CD. Měření bylo provedeno pro tři napětí mezi deskami. Data byla vynesena do grafu na obrázku B.22. Z proložených křivek je patrné, že vynesené závislosti odpovídají nepřímé úměře, jak vyplývá ze vztahu (B.19).

⁹Chyby v řádu jednotek procent jsou přirozené. Projevuje se v nich mimo jiné přesnost elektrometru, či nemožnost nastavení přesné rovnoběžnosti desek.



Obrázek B.21: Závislost velikosti elektrické intenzity elektrického pole deskového kondenzátoru na napětí pro vzdálenosti desek $d \doteq 0,10 \text{ m}$ (+), $d \doteq 0,15 \text{ m}$ (◇), $d \doteq 0,20 \text{ m}$ (□). Naměřená data jsou uvedena v tabulce E.14 v příloze E.5 na CD.



Obrázek B.22: Závislost velikosti elektrické intenzity elektrického pole deskového kondenzátoru na vzdálenosti jejich desek. Měření bylo provedeno pro různá napětí mezi deskami $U = 300 \text{ V}$ (+), $U = 200 \text{ V}$ (◇), $U = 100 \text{ V}$ (□). Naměřená data jsou uvedena v tabulce E.15 v příloze E.5 na CD

B.5.4 Pracovní list

Experiment je součástí experimentální sady *Elektrostatika*, konkrétně stanoviště *Deskový kondenzátor a jak v něm měřit pole*. Pracovní list k tomuto stanovišti je

v příloze C na straně 270.

B.5.5 Shrnutí a zkušenosti

Popsané experimenty jsou „spolehlivé“, tj. výsledky jsou velmi snadno reprodukovatelné a vnější podmínky (počasí) je téměř neovlivňuje. Všechny skupinky studentů pracujících v IFL na tomto experimentu získávají srovnatelná data, která podporují teorii.

Vedoucí cvičení může se studenty rovněž diskutovat další aspekty experimentu. Jedním z nich může být, jak se změní intenzita elektrického pole po vložení látky do elektrického pole. Změnu intenzity mohou studenti snadno pozorovat na displeji voltmetru. Aparatura rovněž umožňuje měnit účinnou plochu desek vytvořeného „kondenzátoru“ tím, že můžeme jednu z nich posunout výše, což se opět projeví změnou intenzity elektrického pole. Při úvodním rozboru principu měření je možné demonstrovat funkci sondy elektrické intenzity například pomocí nabitě plastové tyče, kterou přibližujeme nebo vzdalujeme od senzoru.

B.6 Elektrický potenciál homogenního pole

Cílem tohoto experimentu je prozkoumat, jak závisí potenciál elektrického homogenního pole mezi dvěma deskami

- na jejich vzdálenosti,
- na napětí mezi deskami.

Při přípravě těchto experimentů jsem vycházel z materiálů [111], které k dané aparatuře poskytuje firma Phywe.

B.6.1 Teorie

Elektrický potenciál homogenního pole mezi dvěma rovnoběžnými deskami je dán rovnicí

$$\varphi = \varphi_1 + \frac{U}{d} \cdot x, \quad (\text{B.20})$$

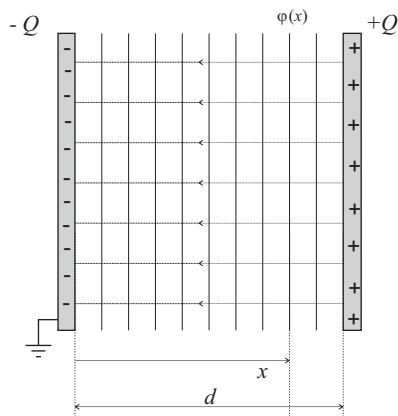
kde φ_1 je potenciál desky, od které měříme vzdálenost x . Pokud by tato deska měla vyšší potenciál než druhá, pak by se při vzdalování potenciál nezvyšoval, ale klesal a operaci sčítání by pak nahradilo odčítání. U je napětí mezi deskami a d je jejich vzdálenost. Je-li jedna z desek uzemněná, je potenciál $\varphi_1 = 0 \text{ V}$ a rovnice (B.20) přechází na tvar

$$\varphi = \frac{U}{d} \cdot x, \quad (\text{B.21})$$

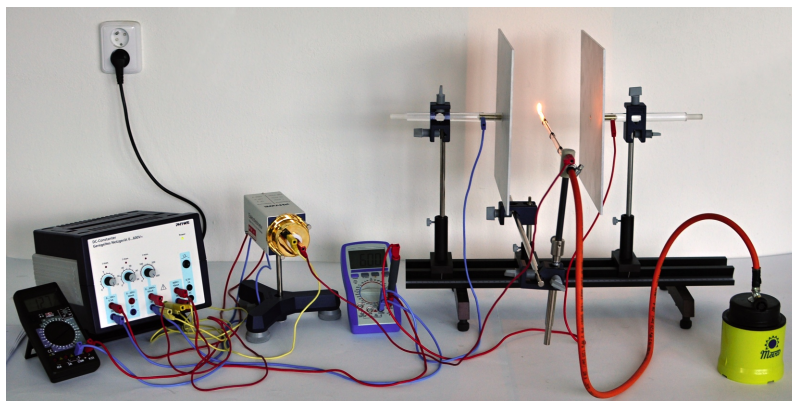
Prostor mezi deskami si můžeme představit tak, že je vyplněn nekonečným počtem tzv. ekvipotenciálních vůči deskám rovnoběžných ploch, přičemž na každé z nich je potenciál stejný a je dán právě rovnicí (B.21). Popsanou situaci zachycuje obrázek B.23.

B.6.2 Aparatura a princip měření

Aparatura (obrázek B.24) sestává ze stativu, na kterém jsou umístěny rovnoběžně dvě kovové desky připojené k regulovatelnému zdroji napětí 0 - 600 V, přičemž záporný pól je uzemněn. Potenciál je měřen pomocí sondy jejíž konec je umístěn mezi deskami. Příslušný potenciál odečítáme na připojeném voltmetru.



Obrázek B.23: K rovnici potenciálu homogenního elektrického pole.



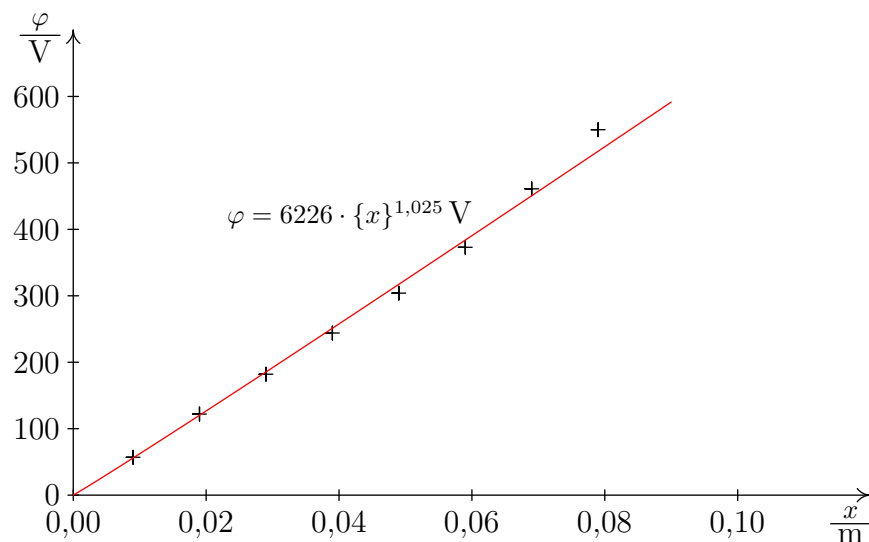
Obrázek B.24: Aparatura pro zkoumání elektrického potenciálu uvnitř deskového kondenzátoru.

B.6.3 Výsledky měření

V tabulce E.16 v příloze E.5 na CD je uveden příklad měření průběhu potenciálu na ose kondenzátoru. Naměřená data byla vynesena do grafu B.25 a pomocí programu Excel byla proložena mocninnou závislostí. Z rovnice takto získané křivky je patrné, že se velice dobře blíží teoretické předpovědi dané rovnicí (B.21). Odchylka měření je přibližně 2 %.

B.6.4 Pracovní list

Připravený návod pro studenty je součástí pracovního listu *Deskový kondenzátor a jak v něm měřit pole* - viz příloha C, strana 270.



Obrázek B.25: Průběh potenciálu v homogenním elektrické poli deskového kondenzátoru.

B.6.5 Shrnutí a zkušenosti

Podobně jako experiment zkoumající elektrický potenciál v okolí nabitých sféricky symetrických těles (viz kapitola B.3), jsou i experimenty popsané v této části velmi citlivé na rozložení okolních těles a získání alespoň podobných dat, která jsou zde prezentována, vyžaduje značnou dávku pečlivosti a trpělivosti. Experiment je tedy vhodný spíše pro menší skupinky zručných studentů, případně pro jednotlivce.

Od školního roku 2015/2016 není experiment standardní součástí programu pro středoškoláky. Je ponechán „do zálohy“, pro rychlé a šikovné studenty, případně pro zájemce, kteří by stáli právě o tento experiment.

B.7 Dostředivá síla

Z vlastní zkušenosti mohou potvrdit, že se studenti při zmínce o otáčivém pohybu spíše než na dostředivou sílu odvolávají na sílu odstředivou, se kterou „bezstarostně“ operují i ve chvíli, jsou-li požádáni, aby daný jev vysvětlili z pohledu inerciální soustavy. Z tohoto důvodu považují každý experiment, ve kterém se byt' jen objeví zmínka o dostředivé síle, za užitečný.

Pro téma dostředivá síla byly vybrány následující dva experimentální úkoly:

1. Ověřit závislost dostředivé síly na periodě otáčení.
2. Pomocí rovnice pro dostředivou sílu určit hmotnost neznámého tělesa v rotující soustavě.

B.7.1 Teorie

Rovnoměrný pohyb hmotného bodu po kružnici patří co do kategorizace mezi pohyby zrychlené, byt' je velikost jeho rychlosti stálá. Mění se směr rychlosti a hmotný bod se pohybuje se zrychlením, které míří do středu kružnice. Toto zrychlení označujeme za dostředivé a jeho velikost určujeme podle vztahu

$$a_d = \frac{v^2}{r} = \omega^2 \cdot r = 4\pi^2 f^2 r = 4\pi^2 \frac{r}{T^2}, \quad (\text{B.22})$$

kde v je velikost obvodové rychlosti, ω je úhlová rychlost a r je poloměr dané kružnice. Důvodem tohoto zrychlení je působení jiného tělesa tzv. dostředivou silou, jejíž velikost lze určit ze vztahu

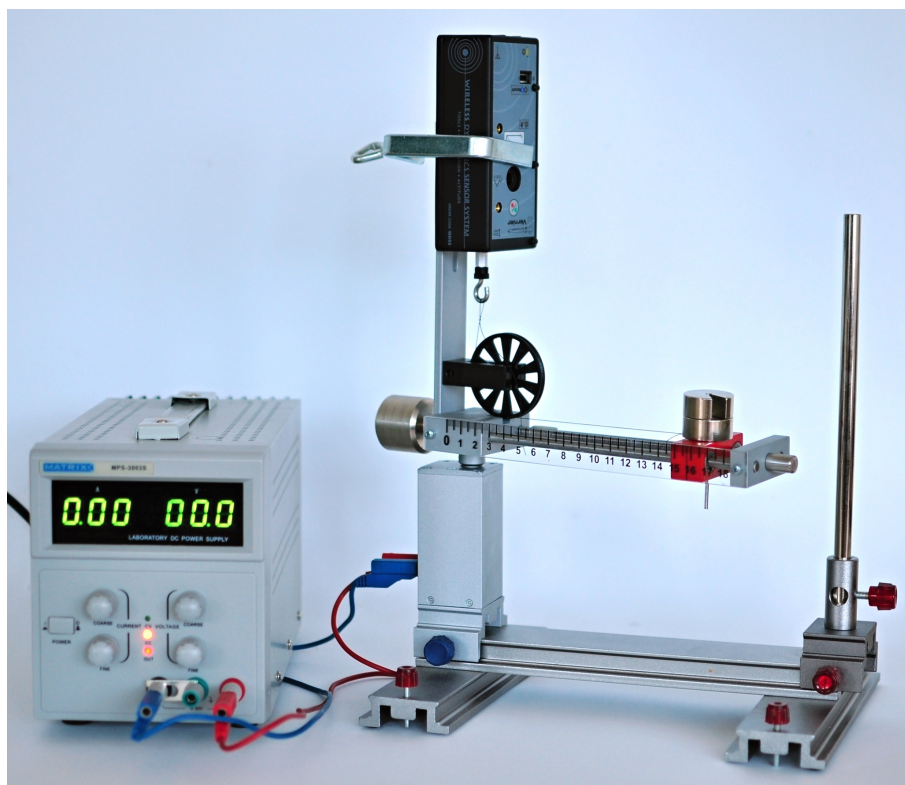
$$F_d = m \cdot a_d = m \cdot \frac{v^2}{r} = 4\pi^2 m r \cdot \frac{1}{T^2}. \quad (\text{B.23})$$

B.7.2 Aparatura a princip měření

Aparatura (obrázek B.26) sestává z motoru, který je napájen stejnosměrným regulovatelným zdrojem napětí. Na ose motoru je připevněno rameno¹⁰, na kterém je umístěn volně pohyblivý jezdec. Na něj je možné umístit závaží o různých hmotnostech. Jezdec je pomocí provázku připojen přes kladku s nízkým třením k siloměru, který je umístěn přibližně v ose otáčení. Siloměr je možné přes bluetooth připojit k počítači¹¹.

¹⁰Základ aparatury (motor s ramenem) je produktem firmy NTL.

¹¹Bezdrátový siloměr je produktem firmy Vernier.



Obrázek B.26: Aparatura k měření dostředivé síly.

Závislost $F_d(T)$

Velikost dostředivé síly držící závaží na kruhové trajektorii je měřena přímo a její průměrné hodnoty jsou ukládány do počítače. Periodu otáčení by bylo možné měřit pomocí optické závory, kvůli většímu zapojení studentů do měření však byl zvoleno „klasické“ měření pomocí stopek. Rychlost otáčení je regulována napětím přiloženým na motor. Takto je tedy možné proměřit závislost dostředivé síly na periodě otáčení.

Určení hmotnosti neznámého tělesa v rotující soustavě

K určení hmotnosti tělesa v rotující soustavě je třeba znát velikost působící dostředivé síly F_d , úhlovou rychlost ω a poloměr kružnice r , po které se těleso pohybuje. Za tímto účelem je rameno vybaveno stupnicí, na které lze polohu tělesa odečíst.

Naskýtají se tak dvě možná určení hmotnosti, přičemž u obou můžeme využít hodnot získaných při zjišťování závislosti F_d . Můžeme buď pro každou úhlovou rychlost (resp. periodu) podle rovnice (B.23) spočítat hmotnost a následně z nich určit aritmetický průměr. Druhou možností je určit hmotnost ze směrnice křivky proložené vynesnými body v grafu závislosti $F_d(T)$.

Možné nepřesnosti měření

V průběhu experimentu jsou určovány tři důležité údaje: perioda otáčení T , velikost dostředivé síly F_d a poloměr otáčení. Možné kolísání velikosti dostředivé síly je při měření eliminováno tak, že program využívaný k zaznamenávání dat nezapíše do tabulky okamžitou dostředivou sílu, ale průměr určený během deseti sekund. Chyba periody otáčení je snížena tím, že není měřena jedna, ale deset period. Poloměr otáčení se na první pohled nemění, avšak při detailnějším zkoumání zjistíme, že se zde projeví pružnost použitého provázku. V rozsahu zde typicky působících sil $0 - 3,5 \text{ N}$ se provázek prodlouží maximálně o $0,7 \text{ cm}$. Přesto je tato chyba o mnoho menší než při použití pružinového siloměru, který při svém natahování sám přispívá ke zvětšení poloměru otáčení.

B.7.3 Výsledky měření

Závislost $F_d(T)$

Data získaná při jednom z měření jsou uvedena v tabulce E.17 v příloze E.5 na CD a vynesena do grafu B.27. Vynesenými body je proložena mocninná závislost. Z předpisu křivky (především exponentu proměnné T) je patrné, že experimentálně získané výsledky se dobře blíží¹² teorii (rovnice (B.23)), ve které byla očekávána závislost dostředivé síly na převrácené hodnotě druhé mocniny periody.

Určení hmotnosti neznámého tělesa v rotující soustavě

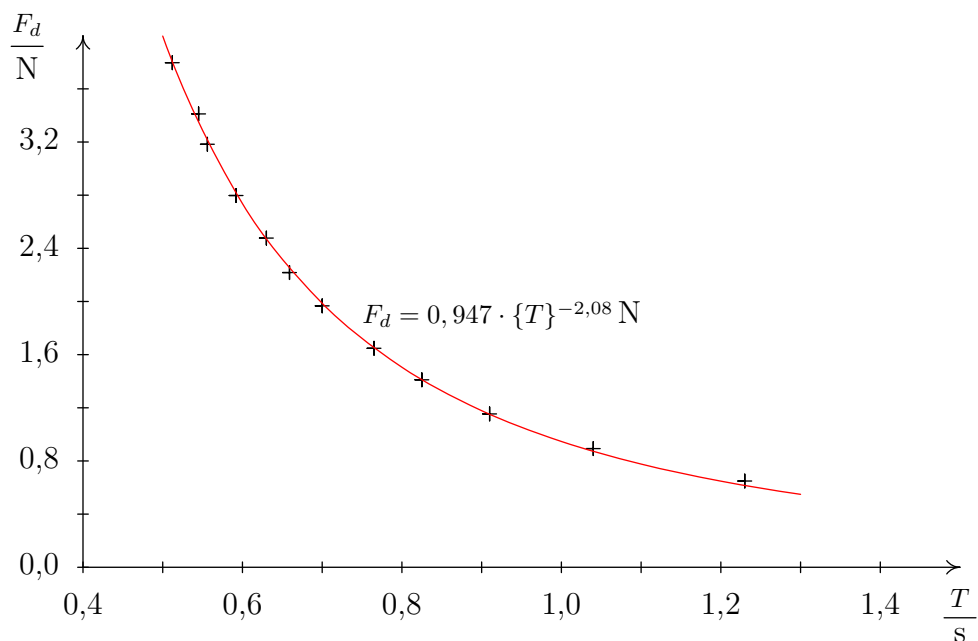
V tabulce E.17 v příloze E.5 na CD je pro každou periodu otáčení tělesa a příslušnou dostředivou sílu podle rovnice (B.23) dopočítána i hmotnost rotujícího tělesa, po spočítání aritmetického průměru byly určeny i odchylky těchto „jednotlivých“ hmotností od aritmetického průměru. Takto určená hmotnost má tak velikost $m = (157 \pm 2) \text{ g}$.

Druhou možností je využít předpisu křivky vynesené v grafu B.27, který podle rovnice (B.23) odpovídá

$$4\pi^2 mr = 0,947. \quad (\text{B.24})$$

Odtud lze určit hmotnost tělesa v rotující soustavě jako $m' = 153 \text{ g}$. Pokud by body vyneseny v grafu B.27 nebyla proložena mocninná závislost, ale křivka daná předpisem $F_d = k \cdot T^{-2}$, bude koeficient $k = 0,986$, potom bude $m'' = 159 \text{ g}$.

¹²Odchylka měření od teorie je přibližně 2%.



Obrázek B.27: Závislost dostředivé síly na periodě

Celkově lze říci, že původně určená hodnota hmotnosti $m = (157 \pm 2)$ g obstála i v porovnání s odlišnými způsoby určení. Jelikož na jezdcí byla umístěna dvě závaží, každé s hmotností 50 g, je zřejmé, že hmotnost jezdce je přibližně 57 g.

B.7.4 Pracovní list

Tento experiment je v IFL součástí tematického programu *Rotující soustavy*. Pracovní list k němu je v příloze C, na straně 277.

Pracovní list obsahuje krátké uvedení do zkoumané problematiky, popis použité aparatury a zadání práce (úkoly). Jelikož se jedná o experiment, při kterém je používána netriviální kombinace pomůcek, které zjevně nejsou pro typického středoškolačka běžné, obsahuje pracovní list detailní popis postupu měření. Další částí pracovního listu je prostor pro zápis předpovědí, pozorování, výsledků a závěrů pozorování studentů.

B.7.5 Shrnutí a zkušenosti

Při použití experimentu v IFL se ukázalo, že studentům činí problémy specifické dovednosti související s měřením. Při měření doby odpovídající deseti periodám často naměří period více, či méně. Z toho důvodu doporučujeme studentům, aby čas měřili nezávisle na sobě alespoň dva členové týmu. Pro některé studenty je velmi složité

pracovat podle daného postupu a sledovat postup. Velké obtíže studentům činí také následná interpretace získaných výsledků měření a jejich využití při zjišťování hmotnosti neznámého tělesa. To vše činí z připravených aktivit pro studenty nesnadný úkol.

Při hledání cesty, jak studentům pomoci se osvědčil následující postup. Studenty nechat po příchodu a úvodním přivítání krátkou chvíli pracovat samostatně, tj. např. 3-5 minut, a poté je „zkontrolovat“ a zjistit, zda všemu správně rozumí. Vhodným způsobem jak toto vypátrat je nechat studenty vlastními slovy popsat, co je cílem této aktivity a jak budou postupovat. Můžeme tím snížit pravděpodobnost toho, že studenti při celém měření postupují špatně a následně již nemají čas měření opakovat.

B.8 Tvar hladiny v rotující nádobě

V rámci středoškolské fyziky patří experimenty s rotujícími kapalinami spíše k raritám, i když základní vztahy popisující například tvar hladiny rotující nádoby jsou jednoduše popsitelné. To byl jeden z důvodů, proč zařadit níže popsaný experiment do tematického programu *Rotující soustavy*.

Cílem připravené aktivity je prozkoumat tvar hladiny v nádobě rotující stálou úhlovou rychlostí. Studenti zjišťují, že svislý řez hladinou lze popsat pomocí kvadratické funkce a odhalí rovnici, která ji popisuje.

B.8.1 Teorie

Po roztočení nádoby s kapalinou se postupně vlivem vnitřního tření roztáčí i kapalina. Po jisté době se již všechny malé kousky kapaliny otáčejí stejnou úhlovou rychlostí. Hladina má v té chvíli tvar paraboloidu, jejíž svislý řez jdoucí vrcholem je dán rovnicí

$$h = \frac{\omega^2}{2g} R^2 = k \cdot R^2, \quad (\text{B.25})$$

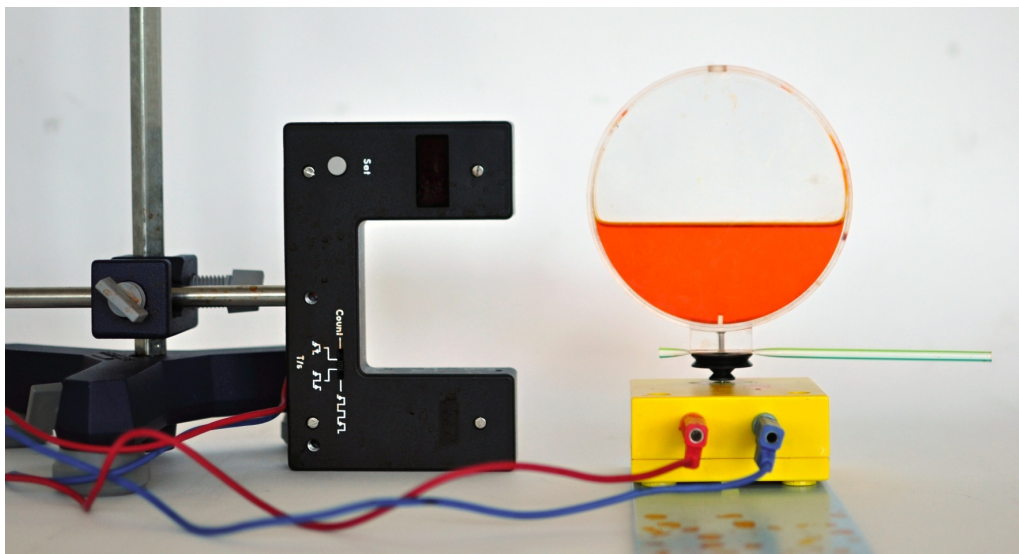
kde h je výška hladiny nad jejím nejnižším bodem ve vzdálenosti R od osy otáčení při úhlové rychlosti ω , přičemž výraz $\omega^2/(2g)$ představuje kvadratický koeficient a může být označen jako k . Ve své diplomové práci [84] jsem ukázal několik způsobů odvození této rovnice a to od středoškolského po několik postupů využívajících metod matematické analýzy.

B.8.2 Aparatura a princip měření

Základ aparatury (obrázek B.28) tvoří plochá kruhová kyveta průměru 12 cm, která je připevněna k malému motorku napájeného zdrojem regulovatelného stejnosměrného napětí. Ke kyvetě je připevněno plastové brčko, které prochází optickou závorou a pomáhá stanovit periodu otáčení.

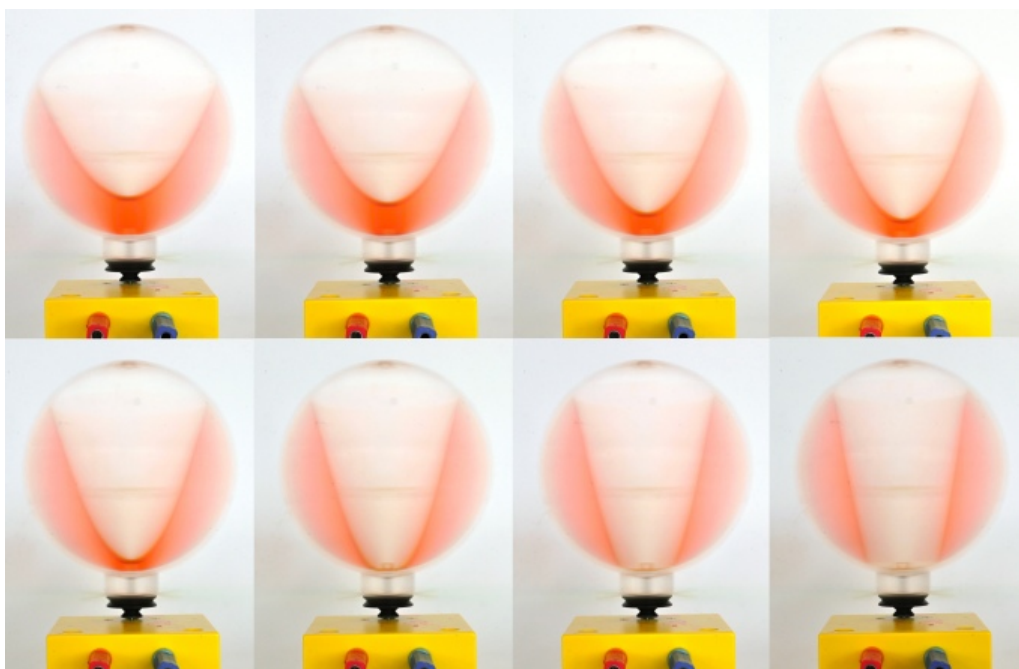
Tvar hladiny je odečítán v počítači pomocí programu Logger Pro ze snímku pořízeného fotoaparátem, který byl nastaven na expozici 5 s.¹³ Na hladině jsou vybrány body, kterými je následně proložena parabola.

¹³Délka vhodné expozice byla stanovena experimentálně. Při krátké expozici dochází ke zkreslení kyvety na fotografii. Při běžné periodě 0,3 s se za dobu pěti sekund otočí více než šestnáctkrát, což umožní zaznamenat tvar hladiny.



Obrázek B.28: Aparatura pro zkoumání tvaru hladiny v rotující nádobě.

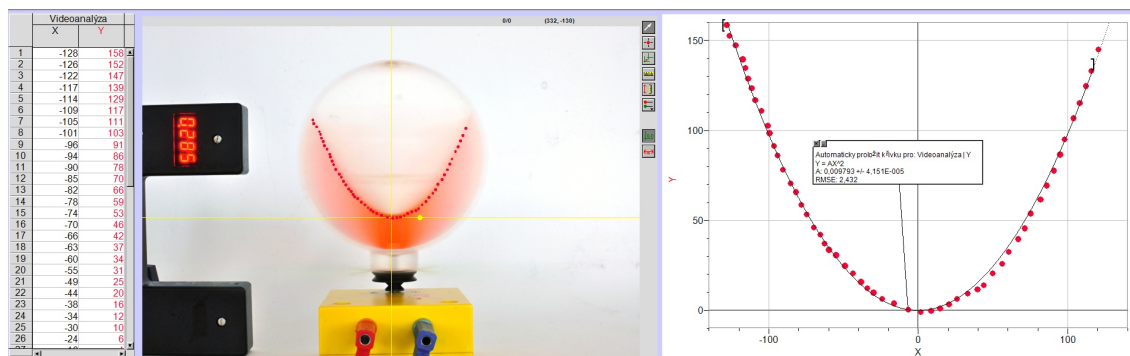
B.8.3 Výsledky měření



Obrázek B.29: Tvar hladiny v rotující nádobě pro různé periody otáčení. Obrázky jsou seřazeny od nejdelsí periody otáčení (vlevo nahoře) po nejkratší periodu otáčení (vpravo dole).

Vybrané snímky získané při experimentech zachycuje obrázek B.29. Je na něm zobrazena hladina pro několik různých period otáčení. Těmi obrázky, na kterých je zachycen i vrchol paraboloidu byly proloženy paraboly a byl zjištěn jejich předpis.

Výstup, který nabízí program Logger Pro, je zachycen na obrázku B.30.



Obrázek B.30: Výstup programu Logger Pro při zpracování jednoho měření - tvaru rotující hladiny.

Kvadratické koeficienty proložených parabol (k_{exp}) jsou společně s teoreticky určenými koeficienty (k_{teor}), které byly vypočteny ze změřené periody otáčení, zaznamenány v tabulce E.18 v příloze E.5 na CD. Z porovnání těchto koeficientů je patrné, že absolutní hodnota jejich relativní odchylky nepřesahuje 3 %.

B.8.4 Pracovní list

Experiment je začleněn do tematického celku *Rotující soustavy* a aktivity s ním spojené jsou pro studenty popsány v pracovním listě v příloze C na straně 285.

Pracovní list obsahuje uvedení do situace, ve kterém je experiment popsán a studenti jsou požádáni, aby před jeho samotným provedením zkusili předpovědět, jak bude tvar hladiny vypadat. Svoji předpověď si zakreslí a diskutují se spolužáky. Poté mohou svoji předpověď upravit. Následně provedou experiment. Aktivita se tím snaží následovat postup *ILEP* popsáný v podkapitole 3.3. Studenti jsou dále požádáni, aby předpověděli, o jakou křivku se jedná. Svoje tvrzení ověřují kvantitativním experimentem.

B.8.5 Shrnutí a zkušenosti

Při sledování studentů při práci na aktivitách spojených s tímto experimentem jsme zjistili, že nezanedbatelná část studentů není zvyklá samostatně vytvářet předpověď, jak experiment dopadne; většina studentů tíhne k přechodu rovnou k diskusi se spolužáky, kde se spoléhá na názor druhých. Studenti obecně špatně oddělují zmíněné tři fáze, které by se měly v připravené aktivitě odehrát ještě před realizací samotného experimentu (hypotéza, diskuze, korekce hypotézy).

Experiment je pro studenty zajímavý především využitím fotografie a jejím následném zpracování v PC při zjišťování předpisu křivky, kterou vytváří hladina. Nejobtížnější částí těchto aktivit je interpretace získaných údajů a nalezení obecného vztahu, který by popisoval tvar zkoumané křivky.

B.9 Měření momentu setrvačnosti

Cílem tohoto experimentu je určit velikost momentu setrvačnosti různých těles dvěma různými metodami - experimentálně z periody kmitání tělesa na zkrutné pružině a z rozložení hmoty v tělese. Při přípravě těchto experimentů jsem vycházel z manuálu [112], který k použité aparatuře vydává firma Phywe.

B.9.1 Teorie

Moment setrvačnosti je fyzikální veličina charakterizuje dynamické vlastnosti tělesa při rotačním pohybu. Zjednodušeně (např. pro studenty střední školy) lze říci, že moment setrvačnosti hraje podobnou roli při otáčení tělesa, jako hmotnost při jeho posouvání. Pro změnu rotačního pohybového stavu těles s velkým momentem setrvačnosti je třeba, aby na těleso působil patřičně velký moment síly. Podobně jako na těleso s velkou hmotností je třeba působit velkou silou, aby změnilo svůj pohybový stav (nyní máme na mysli translační pohyb).

Moment setrvačnosti je definován vztahem

$$M = J\epsilon, \quad (\text{B.26})$$

kde M představuje velikost výsledného momentu sil působících na těleso, J je moment setrvačnosti tělesa vůči ose rotace a ϵ je úhlovým zrychlením tělesa vůči zmíněné ose.

Moment setrvačnosti tak ovlivňuje i periodu kmitání těles na zkrutné pružině. Pro velikost periody platí rovnice

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{J}{D}}, \quad (\text{B.27})$$

kde J představuje moment setrvačnosti tělesa a D direkční moment. Direkční moment je konstantou úměrnosti mezi výchylkou zkrutné pružiny φ a velikostí působícího momentu síly M .

$$M = D\varphi. \quad (\text{B.28})$$

Velikost momentu setrvačnosti tělesa lze rovněž určit z rozložení hmoty v tělese. Je-li těleso homogenní, lze využít vztah

$$J = \rho \int_V r^2 dV. \quad (\text{B.29})$$

Pro jednotlivá tělesa lze využít zjednodušených vztahů, které uvádí tabulka v pracovním listě „Moment setrvačnosti“ na straně 296. Tato tabulka uvádí rovnice pro výpočet momentu setrvačnosti tělesa vzhledem k jejich ose symetrie procházející hmotným středem. Pokud se těleso otáčí kolem osy rovnoběžné s osou procházející hmotným středem, je možné k výpočtu momentu setrvačnosti využít tzv. *Steinerovu větu* [113]

$$J = J_0 + md^2, \quad (\text{B.30})$$

kde J odpovídá hledanému momentu setrvačnosti, J_0 je moment setrvačnosti vzhledem k původní ose, m je hmotnost tělesa a d je vzdálenost obou os.

B.9.2 Aparatura a princip měření

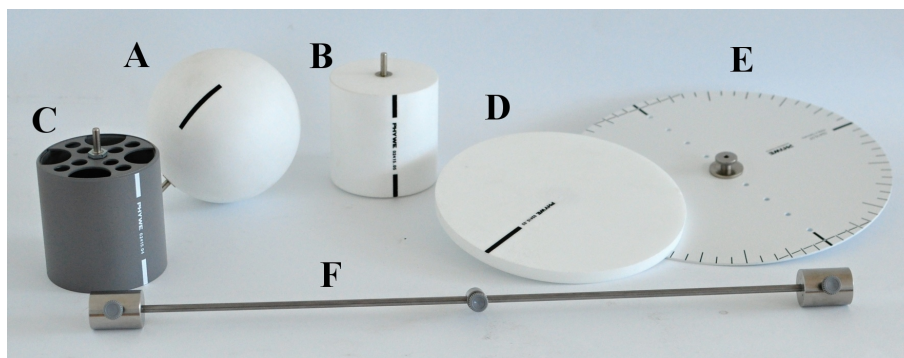
Aparatura (obrázek B.31) sestává ze stativu se zkrutnou pružinou, na které je možno připevnit jedno ze sady těles (obrázek B.32).



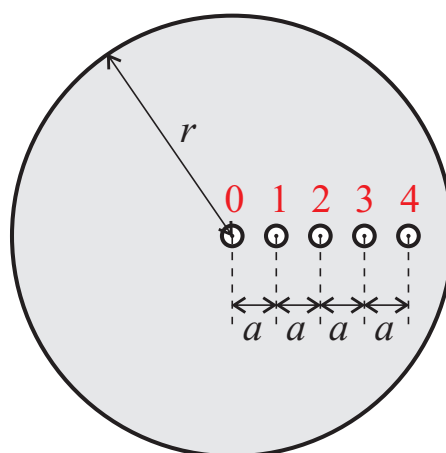
Obrázek B.31: Aparatura pro měření momentu setrvačnosti. Na stativu se zkrutnou pružinou je upevněna koule.

Použitý plechový disk (na obrázku B.32 označen E) dovoluje měnit osu otáčení. Geometrii disku zachycuje obrázek B.33.

Aby bylo možné určit moment setrvačnosti tělesa, je třeba nejprve určit směrový moment pružiny. Následně lze po změření periody kmitání tělesa vypočítat moment setrvačnosti tělesa za použití rovnice (B.26). Takto získaný údaj lze porovnat s hodnotou získanou výpočtem z hmotnosti a tvaru tělesa.



Obrázek B.32: Tělesa pro měření momentu setrvačnosti. A ... koule, B ... válec, C ... dutý válec, D ... disk, E ... plechový disk, F tyč s posuvným středem i závažími



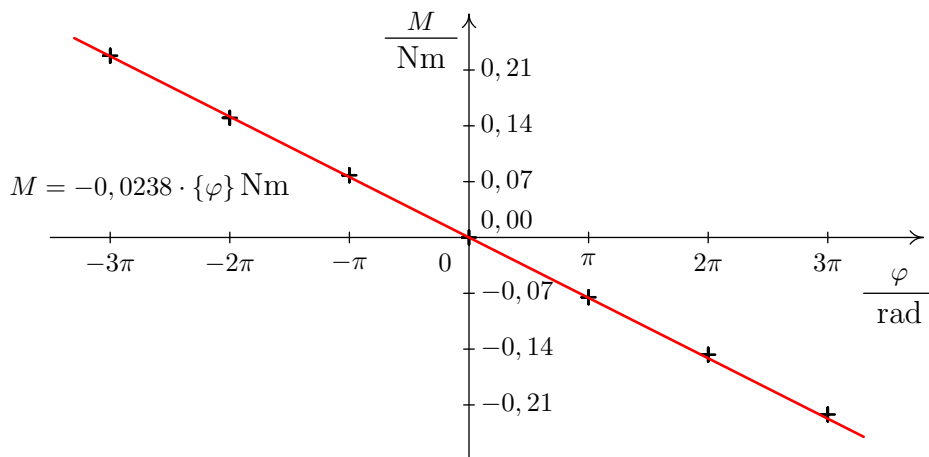
Obrázek B.33: Geometrie plechového disku s možností posunu osy otáčení. Na obrázku jsou pozice možných umístění osy označeny číslicemi 0, 1, ... 4; vzdálenost středů sousedních otvorů pro umístění os ... a ; poloměr disku ... r .

B.9.3 Výsledky měření

Určení direkčního momentu

Na zkrutnou pružinu byla upevněna tyč, která byla pomocí siloměru umístěného ve vzdálenosti $r = 0,28\text{ m}$ postupně vychýlena o různé úhly φ . Přitom byla sledována velikost síly potřebné k vychýlení. Následně byly vypočítány velikosti odpovídajících momentů sil. Naměřené údaje uvádí tabulka E.19 v příloze E.5 na CD. Vyneseme-li naměřené body do grafu závislosti $M(\varphi)$, získáme velikost direkčního momentu pružiny, který odpovídá absolutní hodnotě gradientu prokládané závislosti

$$D = 0,024\text{ Nm/rad.} \quad (\text{B.31})$$



Obrázek B.34: Závislost velikosti momentu M síly reakce na vychýlení zkrutné pružiny o úhel φ .

Určení momentu setrvačnosti

Obrázek B.32 zachycuje tělesa, jejichž momenty setrvačnosti byly určovány. Dále jsou rozebrány jednotlivé výsledky a potřebná měření.

A. Koule

Z naměřené hmotnosti koule $m_k = 782 \text{ g}$ a zjištěného poloměru $r_k = 7,00 \text{ cm}$ byl dle teorie vypočítán moment setrvačnosti

$$J_k^t = \frac{2}{5} m_k r_k^2 = 1,53 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (\text{B.32})$$

Koule byla umístěna na zkrutnou pružinu o již známém směrovém momentu (B.31) a byla naměřena doba deseti kmitů vzniklého oscilátoru $10T = 15,56 \text{ s}$, z čehož plyne, že perioda kmitání koule na zkrutné pružině je $T = 1,556 \text{ s}$. Z naměřené periody a znalosti směrového momentu byl dle rovnice (B.27) následně vypočten moment setrvačnosti koule

$$J_k^e = \frac{D}{4\pi^2} \cdot T^2 = 1,46 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (\text{B.33})$$

B., C. a D. Válec, dutý válec a disk

Pro tělesa označená na obrázku B.32 písmeny B, C a D bylo postupováno stejně jako u koule. Výsledky i naměřené údaje uvádí tabulky B.3 a B.4.

E. Plechový disk s možností změny osy otáčení

V případě osy otáčení odpovídající ose symetrie disku bylo postupováno jako v předešlých měřeních těles A - D. Při posunu osy do některé z pozic 1 - 4 (viz obrázek

Tabulka B.3: Momenty setrvačnosti válce a disku určené dle rozložení hmoty v tělese i z kmitání na zkrutné pružině.

	$\frac{10T}{s}$	$\frac{T}{s}$	$\frac{J^e}{\text{kg}\cdot\text{m}^2}$	$\frac{m}{\text{kg}}$	$\frac{r}{\text{m}}$	$\frac{J^t}{\text{kg}\cdot\text{m}^2}$
Válec	8,40	0,840	$4,25 \cdot 10^{-4}$	0,350	0,0494	$4,27 \cdot 10^{-4}$
Disk	16,88	1,688	$1,718 \cdot 10^{-3}$	0,276	0,1085	$1,62 \cdot 10^{-3}$

Tabulka B.4: Moment setrvačnosti dutého válce určený dle rozložení hmoty v tělese i z kmitání na zkrutné pružině.

	$\frac{10T}{s}$	$\frac{T}{s}$	$\frac{J^e}{\text{kg}\cdot\text{m}^2}$	$\frac{m}{\text{kg}}$	$\frac{r_i}{\text{m}}$	$\frac{r_o}{\text{m}}$	$\frac{J^t}{\text{kg}\cdot\text{m}^2}$
Dutý válec	11,83	1,183	$8,44 \cdot 10^{-4}$	0,360	0,046	0,050	$8,31 \cdot 10^{-4}$

B.33) bylo nutné při výpočtu momentu setrvačnosti z geometrie tělesa použít Steinerovu větu (B.30).

Hmotnost disku byla změřena jako $m = 451 \text{ g}$, jeho poloměr $r = 15,0 \text{ cm}$ a vzdálenost jednotlivých pozic pro umístění osy otáčení $a = 3,0 \text{ cm}$. Zde uvádím pouze výpočet pro moment setrvačnosti vzhledem k ose otáčení umístěné v pozici 1. Zbývající výsledky uvádějící tabulka společně s naměřenými daty byly získány obdobně.

$$\begin{aligned}
 J_{\text{pd}}^t &= J_0 + m \cdot d^2 = \frac{1}{2}m \cdot r^2 + m \cdot d^2 = m \cdot \left(\frac{1}{2}r^2 + d^2 \right) \\
 J_{\text{pd}}^t &= 0,451 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 0,15^2 + 0,03^2 \right) \doteq 5,48 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2. \quad (\text{B.34})
 \end{aligned}$$

Tabulka B.5: Moment setrvačnosti plechového disku určený dle rozložení hmoty v tělese i z kmitání na zkrutné pružině.

Pozice	$\frac{10T}{s}$	$\frac{T}{s}$	$\frac{J^e}{\text{kg}\cdot\text{m}^2}$	$\frac{J^t}{\text{kg}\cdot\text{m}^2}$
0	28,52	2,852	$4,90 \cdot 10^{-3}$	$5,07 \cdot 10^{-3}$
1	29,91	2,991	$5,39 \cdot 10^{-3}$	$5,48 \cdot 10^{-3}$
2	33,37	3,337	$6,71 \cdot 10^{-3}$	$6,70 \cdot 10^{-3}$
3	38,60	3,860	$8,98 \cdot 10^{-3}$	$8,73 \cdot 10^{-3}$
4	43,49	4,349	$1,14 \cdot 10^{-2}$	$1,16 \cdot 10^{-2}$

F. Tyč s posuvnými závažími

Posledním tělesem, jehož kmity na zkrutné pružině byly proměřovány, byla tyč s posuvnými závažími. Tyč o průměru $d = 6,00$ mm, délce $L = 59,9$ cm a hmotnosti $m = 170$ g se otáčela okolo osy jdoucí jejím středem. Postupně byly proměřeny tři situace - samotná tyč bez závaží, tyč se závažími na koncích a ve vzdálenosti 10 cm od osy otáčení. Závaží byly umístěny vždy symetricky ke středu otáčení.

Tabulka B.6: Moment setrvačnosti tyče se závažími. Pozice závaží je označena l a odpovídá vzdálenosti středu závaží od osy otáčení.

$\frac{l}{m}$	$\frac{10T}{s}$	$\frac{T}{s}$	$\frac{J^e}{\text{kg}\cdot\text{m}^2}$	$\frac{J^t}{\text{kg}\cdot\text{m}^2}$
bez závaží	28,87	2,887	$5,02 \cdot 10^{-3}$	$5,08 \cdot 10^{-3}$
0,10	39,28	3,928	$9,30 \cdot 10^{-3}$	$9,40 \cdot 10^{-3}$
0,29	83,31	9,331	$4,18 \cdot 10^{-3}$	$4,14 \cdot 10^{-3}$

Hodnoty momentů setrvačnosti zjištěných z kmitání těles na zkrutné pružině a z parametrů těles (tvar, rozměry, hmotnost) se odchyľují maximálně o 6 %, v průměru však o 2 %, což odpovídá řádu běžných chyb měření.

B.9.4 Pracovní list

Pracovní list je v příloze C na straně 292. Připravené aktivity jsou zahrnuty do tematického programu *Mechanické kmitání a mechanika tuhého tělesa*.

Pracovní list kromě zadání (úkolů pro studenty) obsahuje rovněž obsírnější popis teorie a detailní postup měření. Součástí je i prostor (záznamový arch) pro zápis naměřených dat a zpracování výsledků měření. Studentům je k dispozici i pomocná tabulka s momenty setrvačnosti vybraných těles (viz příloha C, strana 296).

B.9.5 Shrnutí a zkušenosti

Z vlastní práce se studenty se ukazuje, že experiment je pro ně náročný především z toho důvodu, že k tomu, aby mohli určit moment setrvačnosti, musí nejdříve určit tuhost používané zkrutné pružiny. Postup tak nevede jednoduše „přímo“ k cíli na což nejsou studenti příliš zvyklí. Právě z tohoto důvodu stihne většina skupin studentů proměřit „pouze“ dvě tělesa. Ve většině případů studenti měří moment setrvačnosti koule, válce, případně dutého válce a to vzhledem k ose symetrie jednotlivých těles. Jelikož je naší snahou, aby studenti v rámci příslušného tematického programu zvládli další aktivity na jiných stanovištích, nezabýváme se zde použitím Steinerovy věty při určování momentů setrvačnosti vůči jiným osám otáčení než těm,

která odpovídají právě osám symetrie těles. Tato aktivita však může být zařazena na přání pedagoga, který studenty do IFL přivádí.

B.10 Pohlovo kyvadlo

Cílem tohoto experimentu je proměřit rezonanční křivku torzního (Pohlova) kyvadla pro různá tlumení a porovnat je s teoretickými předpoklady. Při přípravě aktivit a materiálů jsem se nechal inspirovat manuálem [114], který k dané aparatuře poskytuje firma 3B Scientific.

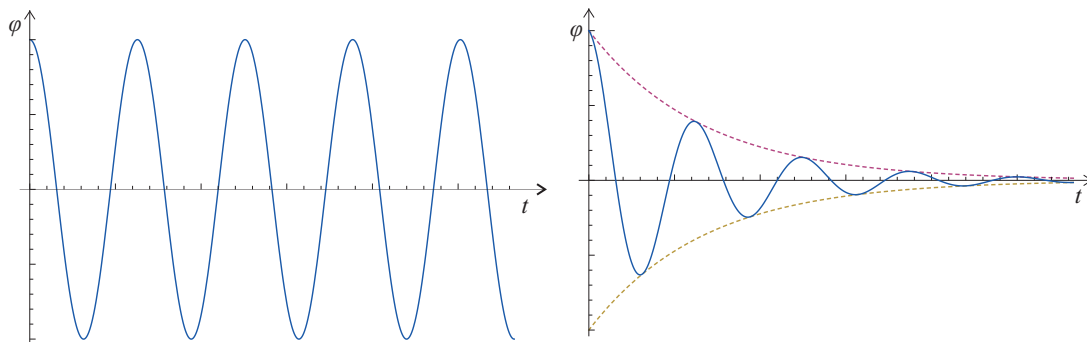
B.10.1 Teorie

Vlastní kmity

Nejprve se zabývejme situací, kdy bude kyvadlo konat tzv. vlastní kmity. V této situaci do kyvadla „šťouchneme“ pouze jednou - energii mu dodáme pouze jeho vychýlením na počátku. Poté již dochází pouze k vzájemným přeměnám potenciální a kinetické energie. V takovéto situaci (když by se kinetická energie přeměňovala v potenciální energii kmitání a zpět) by se jednalo o netlumené kmitání. Pak bychom výchylku kyvadla popsali pomocí rovnice

$$\varphi(t) = \varphi_m \cos(\omega_0 \cdot t), \quad (\text{B.35})$$

kde φ je výchylka kyvadla, φ_m je amplituda (maximální výchylka) kmitání, ω_0 je úhlová frekvence kmitání netlumeného kyvadla. Průběh této funkce je znázorněn v grafu B.35.



Obrázek B.35: Netlumené kmitání.

Obrázek B.36: (Málo) tlumené kmitání.

V reálných situacích jsou však vlastní kmity vždy více či méně tlumené. Postupně se vždy část energie přeměňuje na teplo a dochází tak k postupnému zmenšování amplitudy kyvadla až dojde k jeho zastavení.

Kmitání Pohlova kyvadla je při malých tlumeních popsáno rovnicí

$$\varphi(t) = \varphi_0 e^{-\delta \cdot t} \cos(\omega \cdot t), \quad (\text{B.36})$$

kde φ je výchylka kyvadla, φ_0 je počáteční výchylka kyvadla (v čase $t = 0$ s), δ je součinitel tlumení a ω je úhlová frekvence kmitání kyvadla. Součin $\varphi_0 e^{-\delta \cdot t}$ budeme označovat jako amplitudu kmitání

$$A = \varphi_0 e^{-\delta \cdot t}, \quad (\text{B.37})$$

kteřá se, jak je vidět, s časem zmenšuje. Konstanta δ charakterizuje velikost tlumení a nazýváme ji součinitel tlumení. Za dobu $t = 1/\delta$ klesne amplituda výchylky na jednu „étinu“ současné amplitudy. Průběh výchylky málo tlumeného kmitání je vyneseno grafu B.36.

Úhlová frekvence kmitání kyvadla závisí na velikosti tlumení podle vztahu

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}, \quad (\text{B.38})$$

kde ω_0 je vlastní úhlová frekvence kmitání netlumeného kyvadla.

Pro dostatečně malá tlumení lze ze vztahu (B.36) odvodit veličinu Λ (logaritmický dekrement útlumu) jako přirozený logaritmus poměru dvou po sobě následujících amplitud A_n a A_{n+1} , které odděluje časový interval jedné periody T kmitání kyvadla

$$\Lambda = \ln \frac{A_n}{A_{n+1}}. \quad (\text{B.39})$$

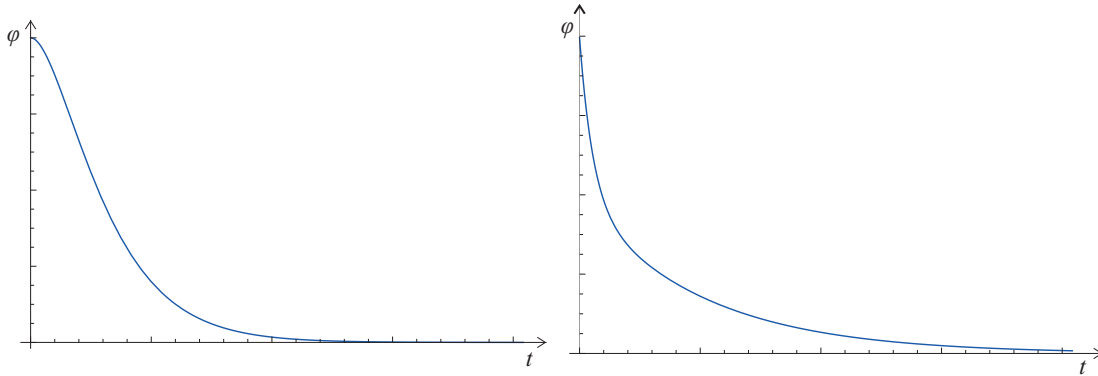
Navíc mezi logaritmickým dekrementem Λ , periodou T a součinitelem tlumení δ platí vztah

$$\delta = \frac{\Lambda}{T}. \quad (\text{B.40})$$

Pokud již tlumení není malé, mohou nastat pro chování kyvadla dvě další možnosti.

Je-li $\omega^2 = \delta^2$ dojde k takzvanému meznímu aperiodickému pohybu. Výchylka kyvadla již nebude popsána rovnicí (B.36). Příklad možného průběhu zachycuje graf na obrázku B.37. Toto je situace, kdy se oscilátor dostane do své rovnovážné polohy za nejkratší čas.

Je-li $\delta^2 > \omega^2$ dochází k tzv. aperiodickému pohybu. Výchylka se stejně jako v předchozím případě dostává do rovnovážné polohy bez jejího „překmitnutí“. Nic-



Obrázek B.37: Mezní aperiodický pohyb.

Obrázek B.38: Aperiodický pohyb.

méně v této situaci již není útlum nejrychlejší. Možnou situaci zachycuje graf na obrázku B.38.

Nucené kmity

V situaci, kdy kyvadlu dodáváme průběžně energii pomocí vnějšího „buditele“ (v našem případě jím bude elektromotor), mluvíme o nuceném kmitání. Na kyvadlo tento buditel působí momentem, který se opět rovněž periodicky mění s úhlovou frekvencí Ω (úhlová frekvence otáčení rotoru motoru). Průběh momentu síly je pak možno psát např. jako

$$M = M_0 \cos(\Omega \cdot t), \quad (\text{B.41})$$

kde M_0 je amplituda (maximální) moment síly, kterým motor prostřednictvím soustavy pák působí.

Stejně jako u mezního aperiodického i aperiodického pohybu i v této situaci je okamžitá výchylka v daném čase popsána poměrně složitou rovnicí. Nicméně většinou nás zajímají především maximální výchylky kyvadla (amplitudy). Ukazuje se, že po přechodu kyvadla do ustáleného stavu (kmitání) je velikost jeho amplitudy A popsána následující rovnicí

$$|A| = \frac{S}{\sqrt{(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + 4\delta^2\Omega^2}}, \quad (\text{B.42})$$

kde S je poměr amplitudy momentu budící síly M_0 a momentu setrvačnosti kyvadla J , platí $S = M_0/J$. Stejně jako v předchozích situacích označuje ω_0 vlastní úhlovou frekvenci kmitání netlumeného kyvadla a δ je součinitel jeho tlumení. Graf

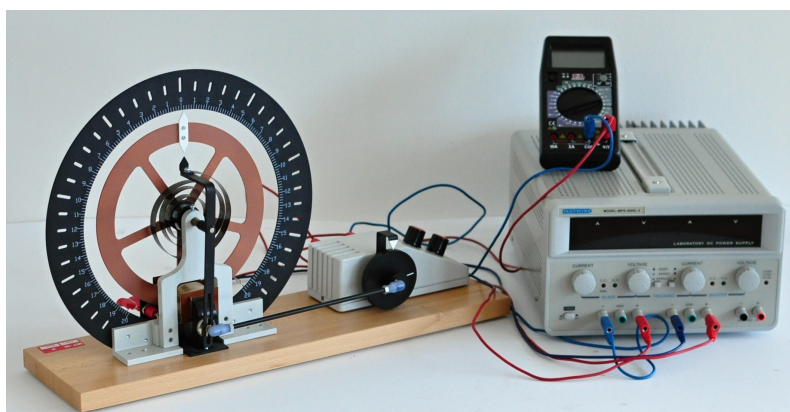
závislosti velikosti amplitudy výchylky A daného kyvadla na budící úhlové frekvenci Ω nazýváme rezonanční křivka¹⁴.

Situaci, kdy amplituda dosahuje maximálních hodnot, nazýváme rezonance. V případě zanedbatelně malého tlumení ($\delta \rightarrow 0$) k ní dochází v okamžiku, kdy je budící úhlová frekvence Ω rovna úhlové frekvenci vlastního kmitání kyvadla ω_0 . Tuto frekvenci nazýváme rezonanční frekvencí a značíme ji Ω_r . V případě zanedbatelného tlumení δ je velikost rezonanční frekvence nižší a je dána vztahem

$$\Omega_r = \sqrt{\omega_0^2 - 2\delta^2}. \quad (\text{B.43})$$

B.10.2 Aparatura a princip měření

Aparatura sestává z Pohlova kyvadla¹⁵, napěťového zdroje, multimetru. K měření periody jsou používány stopky.



Obrázek B.39: Aparatura pro proměření rezonančních křivek - Pohlovo kyvadlo s napájecím zdrojem a voltmetrem pro měření napětí na motorku budící kmitu.

Jelikož úhlovou frekvenci motorku budícího kmitu regulujeme pomocí napětí přivedeného na motorek, je třeba nejprve určit korelační graf mezi napětím na motorku a úhlovou frekvencí otáčení rotoru motorku. Tímto způsobem získáme vztah pro určení úhlové frekvence ze znalosti napětí na motorku. Následně proměříme závislost amplitudy výchylky na napětí na motorku (resp. budící frekvenci) pro různá tlumení.

Tlumení kyvadla lze regulovat pomocí indukční brzdy, která je realizována dvěma cívkami na společném jádře, mezi nimiž prochází měděná část kyvadla.

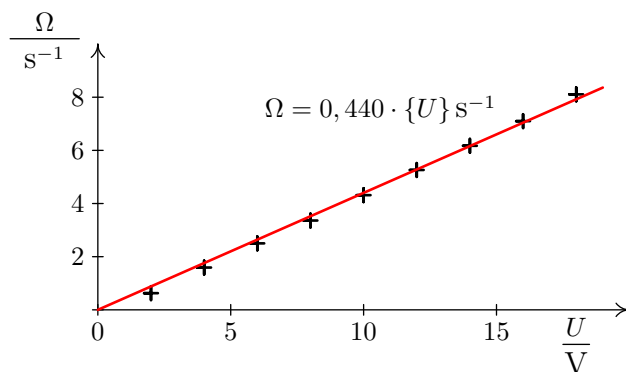
¹⁴V následném experimentu byly proměřeny rezonanční křivky pro různá tlumení kyvadla - viz obrázek B.41

¹⁵Pohlovo kyvadlo je fyzikální pomůckou, kterou prodává množství firem.

B.10.3 Výsledky měření

Korelační diagram: napětí - úhlová frekvence

Data získaná při měření závislosti $\Omega(U)$ jsou zaznamenána v tabulce E.20 v příloze E.5 na CD a vynesena do grafu na obrázku B.40.



Obrázek B.40: Závislost budící frekvence Ω na napětí U .

Z rovnice proložené křivky vyplývá, že pro závislost úhlové frekvence na přiloženém napětí pro daný motorek platí rovnice

$$\Omega \doteq 0,440 \text{ Vs}^{-1} \cdot U. \quad (\text{B.44})$$

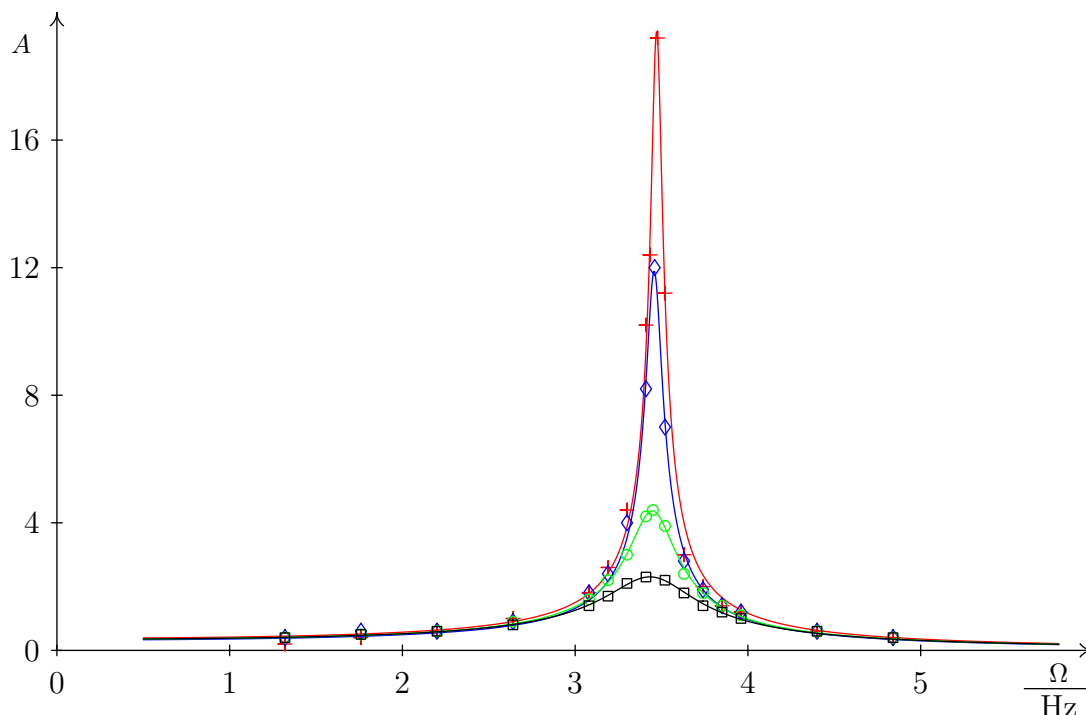
Rezonanční křivka

Pro různé velikosti proudu procházejícího indukční brzdou byla naměřena závislost amplitudy torzního kyvadla na velikosti budící úhlové frekvence. Naměřená data jsou uvedena v tabulce E.21 v příloze E.5 na CD a vynesena do grafu na obrázku B.41. Vynesenými body byly proloženy¹⁶ křivky dané funkčním předpisem (B.42). Pohledem na obrázek zjistíme, že vynesené body dobře odpovídají předpokládané závislosti (která je znázorněna proloženou křivkou).

B.10.4 Pracovní list

Experiment je zařazen do tematického celku *Mechanické kmitání a mechanika tuhého tělesa*. Pracovní list je v příloze C na straně 298. Pro studenty byl rovněž připraven soubor v programu Logger Pro, do kterého mohou vložit svoje naměřená data a program sám již provede jejich vynesení do souřadnicového systému a proloží je křivkou danou předpisem (B.42). Tento soubor je v příloze E.4 na CD.

¹⁶K prokládání křivek je při této aktivitě využíváno programu Logger Pro.



Obrázek B.41: Závislost amplitudy Pohlova kyvadla na budící úhlové frekvenci pro různá tlumení. Tlumení provedeno pomocí indukční brzdy. Proudů cívkami - 0,00 A (+); 0,20 A (◇); 0,40 A (○); 0,60 A (□).

Studenti se v připravené aktivitě setkávají s přístrojem, který doposud neznali a jehož fungování nemusí být na první pohled zřejmé. Z toho důvodu, je připravený materiál koncipován formou návodu a obsahuje také popis používané aparatury.

V zadání aktivity je ponechána jistá volnost pro pracovníky IFL, kteří rozhodnou, jaké tlumení bude daná skupinka studentů proměřovat. Při jedné návštěvě IFL se na tomto stanovišti vystřídá více skupin a je vhodné, aby každá z nich proměřila jiné tlumení¹⁷. Při závěrečné prezentaci výsledků a jejich diskuzi je vhodné provést toto porovnání a se všemi studenty probrat rozdíly a podobnosti naměřených závislostí.

B.10.5 Shrnutí a zkušenosti

V popsaném experimentu studenti dosahují výsledků srovnatelných s těmi, které jsou prezentovány v této práci. Aktivita cílí především na to, aby studenti lépe porozuměli pojmům rezonance a rezonanční křivka, stejně jako vztahu mezi oscilátorem a zdrojem vnější síly, který vyvolává nucené kmitání.

¹⁷Tlumení je třeba volit dostatečně odlišná. Nastavení proudu 0,0 A; 0,2 A; 0,4 A; 0,6 A, použita také v ukázkovém měření, toto splňují.

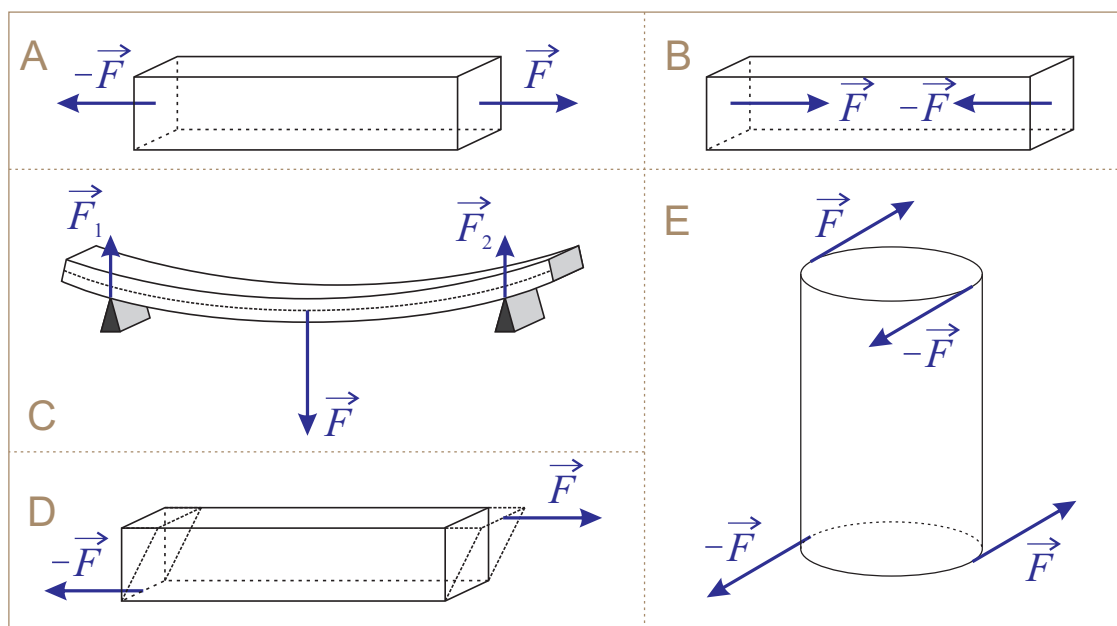
B.11 Modul pružnosti - kroucení tyčí

Kmitání je klasickou součástí středoškolského učiva. Podobně je tomu i s deformací těles, i když ta je až na Hookův zákon probírána spíše kvalitativně. Nicméně s torzním kyvadlem, které spojuje tyto dvě, pro středoškoláka spíše oddělené oblasti, by se běžný student setkal spíše ojediněle.

Cílem dále popisovaných experimentů je ukázat, jak závisí perioda kmitání torzního kyvadla na parametrech kroucené tyče, tj. na její délce, poloměru průřezu a materiálu. Při přípravě těchto aktivit jsem se nechal inspirovat laboratorními cvičeními pro studenty vysokých škol [115], [116] a materiálem [117], který k dané aparatuře poskytuje firma Phywe.

B.11.1 Teorie

Co najdeme ve středoškolských učebnicích

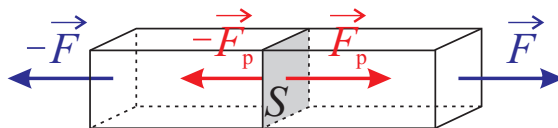


Obrázek B.42: Znázornění deformací na střední škole. A ...deformace tahem; B ...deformace tlakem; C ...deformace ohybem; D ...deformace smykem; E ...deformace kroucením. Zobrazené vektory představují deformující síly. Obrázek byly nakreslen podle obrázků v učebnici [31].

Ve středoškolské učebnici [31] jsou deformace studentům vyloženy na základě obrázků (obrázek B.42). Kvantitativně je však popsána pouze deformace tahem. Studenti se tak dozví, že v libovolném příčném řezu tělesa vzniká při deformaci stav napjatosti, který je charakterizován *normálovým napětím*

$$\sigma_n = \frac{F_p}{S}, \quad (\text{B.45})$$

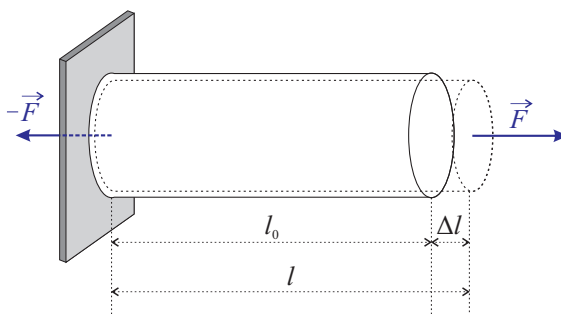
kde F_p je velikost síly pružnosti¹⁸ působící kolmo na plochu S (obrázek B.43).



Obrázek B.43: K definici normálového napětí při deformaci tahem.

Dále je zavedeno relativní prodloužení, jakožto poměr prodloužení Δl a počáteční délky tělesa l_0 (obrázek B.44).

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}. \quad (\text{B.46})$$



Obrázek B.44: K definici relativního prodloužení při deformaci tahem.

Učebnice [31] rovněž uvádí, že z experimentů vyplývá tzv. Hookův zákon, který říká, že „při pružné deformaci tahem je normálové napětí přímo úměrné relativnímu prodloužení“. Tento poznatek lze dále zapsat rovnicí

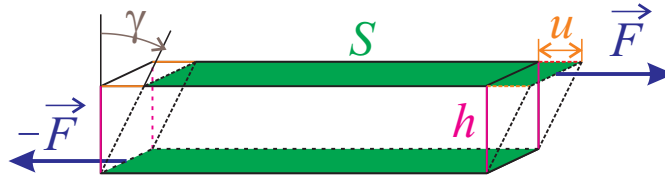
$$\sigma_n = E\epsilon, \quad (\text{B.47})$$

kde konstanta úměrnosti E charakterizuje vlastnosti látky a nazývá se modul pružnosti v tahu.

Deformace smykem a kroucením

Analogicky k deformaci tahem je možné popsat deformaci ve smyku. Mějme hranol s výškou h a podstavami o obsahu S (obrázek B.45). Při tečném působení dvou

¹⁸Při deformaci tahem se zvětšují vzdálenosti mezi částicemi látky. To způsobí, že ve vzájemném silovém působení těchto částic převládají přitažlivé síly - říkáme, že v tělese vznikají síly pružnosti.



Obrázek B.45: K deformaci ve smyku.

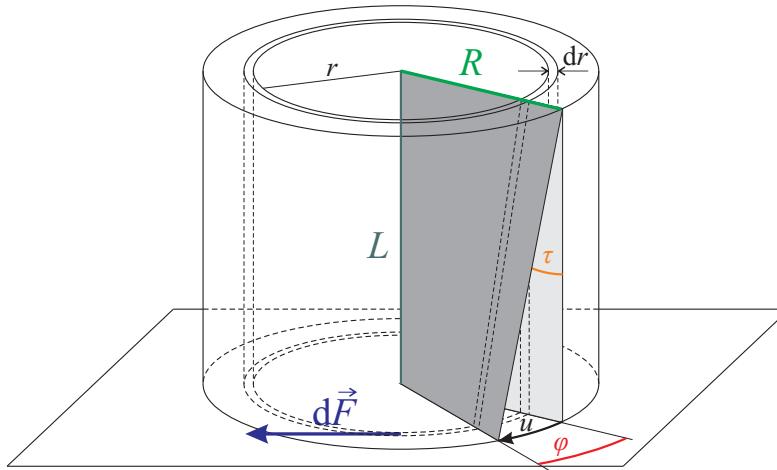
opačně orientovaných sil \vec{F} a $-\vec{F}$ na podstavy hranolu dochází k namáhání smykem. Boční stěny hranolu se zešíklí o úhel γ . Je-li tento úhel dostatečně malý, platí, že $\gamma \doteq \tan \gamma = \frac{u}{h}$. Podobně, jako u deformace tahem je definováno normálové napětí, můžeme zde definovat tečné (smykové) napětí¹⁹ jako

$$\tau = \frac{F}{S}. \quad (\text{B.48})$$

Pokud se hranol neohýbá, tj. jeho horní podstava je rovnoběžná se spodní, a pokud tečné napětí nenabývá příliš velkých hodnot, pro úhel γ platí *Hookův zákon*

$$\gamma = \frac{\tau}{G}, \quad (\text{B.49})$$

kde konstanta úměrnosti G představuje tzv. *modul pružnosti ve smyku* a charakterizuje chování látky.



Obrázek B.46: K deformaci drátu kroucením.

Modul pružnosti se uplatní i při namáhání těles kroucením. Mějme válcový drát s délkou L a poloměrem průřezu R , který podrobíme kroucení podobně jak bylo zachyceno na obrázku B.42. Pro jednoduchost si představme, že horní podstava

¹⁹Ve značení tečného (smykového) napětí vycházíme ze značení učebnice [113] a značíme jej τ .

válcového drátu se nepohybuje²⁰ (resp. vztažnou soustavu spojíme s ní) - viz obrázek B.46. Na každou z podstav působí moment síly. Objem drátu můžeme rozdělit na elementární válcové slupky o výšce L poloměru r a tloušťce dr . Slupky jsou namáhány tečným napětím τ . Podle Hookova zákona dochází u každé ze slupek ke smyku. U všech slupek je úhel pootočení horní podstavy vůči spodní stejný (φ). Pro vnější slupku platí $\gamma = \tau/G$. Přičemž úhly γ a φ je možné pro vnější slupku dát do souvislosti takto: $u = R\varphi = l\gamma$. Je zřejmé, že podobný vztah by platil pro každou ze slupek s obecným poloměrem r a to v následující podobě: $r\varphi = l\gamma$. Dosazením do Hookova zákona a následnou úpravou dostáváme závislost tečného napětí τ na vzdálenosti r od středu drátu

$$\tau = G \frac{r\varphi}{l}. \quad (\text{B.50})$$

Zkroucení o úhel φ zapříčinilo kroucení. Namísto působícího momentu síly si můžeme představit, že na každé elementární mezikruží o ploše $dS = 2\pi r dr$ působí elementární moment síly

$$dM = r dF. \quad (\text{B.51})$$

Použitím rovnic (B.48), (B.50) a vztahu pro plochu elementárního mezikruží dS můžeme tento vztah upravit takto

$$\begin{aligned} dM &= r\tau \cdot dS = rG \frac{r\varphi}{l} \cdot 2\pi r dr \\ dM &= 2\pi G \frac{r^3\varphi}{l} dr. \end{aligned} \quad (\text{B.52})$$

Na celou podstavu tedy působí moment dvojice sil o velikosti

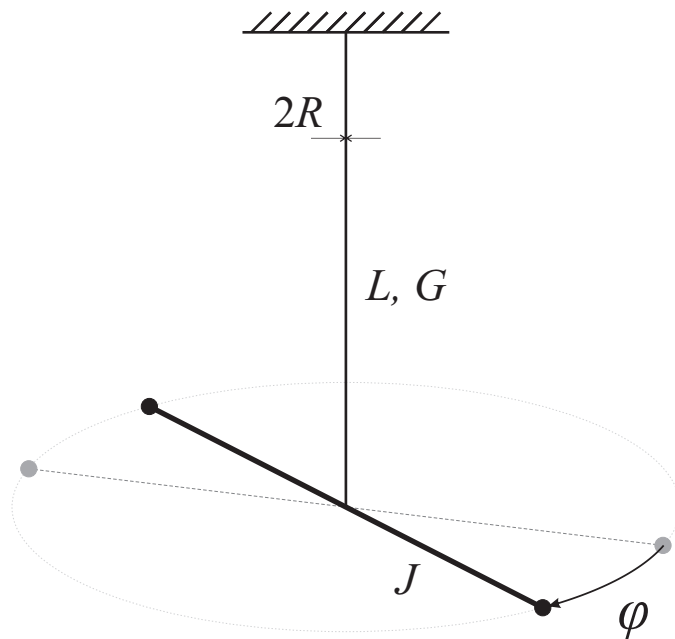
$$M = \frac{2\pi G\varphi}{l} \int_0^R r^3 dr = \frac{\pi GR^4}{2l} \varphi = D\varphi, \quad (\text{B.53})$$

kde $D = \pi GR^4/2l$ představuje *direkční moment*, jinak též *torzní tuhost drátu*.

Torzní kyvadlo

Torzním kyvadlem (obrázek B.47) rozumíme těleso zavěšené na zkrutném vlákně, které může představovat provázek, drát, struna, apod. Pokud těleso rozkmitáme kolem svislé osy, začne kyvadlo vykonávat torzní kmity. Známe-li parametry torzního

²⁰Toto uspořádání (nepohyblivá horní podstava) odpovídá i uspořádání experimentu (viz B.11.2).



Obrázek B.47: Torzní kyvadlo

kyvadla (délku vlákna L , jeho průměr d , vlastnosti materiálu vlákna charakterizované modulem pružnosti G a moment setrvačnosti tělesa J vůči ose otáčení), můžeme předpovědět periodu jeho kmitání.

Při kmitání působí proti výchylce moment sil $M' = -k_T \varphi$. Pro těleso můžeme psát pohybovou rovnici

$$J\ddot{\varphi} = M' \quad (\text{B.54})$$

Po dosazení za moment sil dostáváme rovnici harmonického oscilátoru

$$\ddot{\varphi} + \omega^2 \varphi = 0, \quad (\text{B.55})$$

kde

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k_T}{J}} = \sqrt{\frac{\pi R^4 G}{2LJ}} \quad (\text{B.56})$$

představuje úhlovou frekvenci. Pro periodu kmitání torzního kyvadla tedy platí

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = \sqrt{\frac{8\pi LJ}{R^4 G}}. \quad (\text{B.57})$$

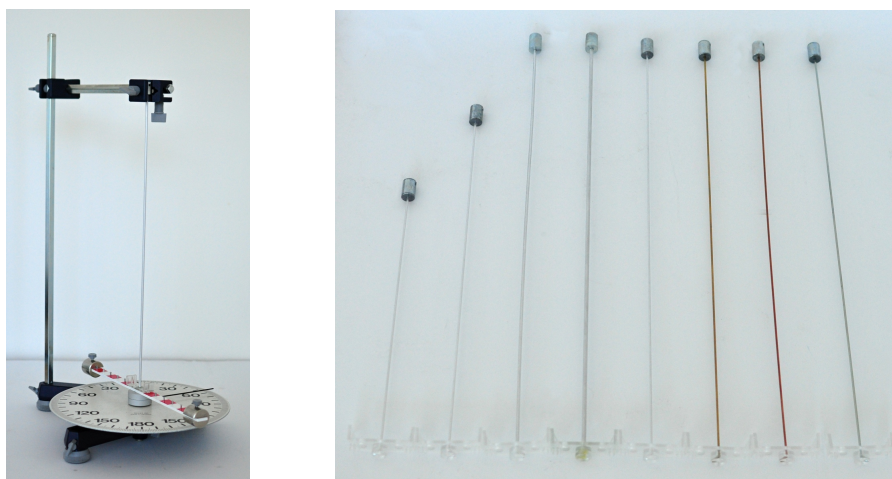
Po úpravě lze vztah rovněž použít k experimentálnímu určení modulu pružnosti ve smyku materiálu závěsu

$$G = \frac{8\pi LJ}{R^4 T^2}. \quad (\text{B.58})$$

B.11.2 Aparatura a princip měření.

Aparatura (obrázek B.49) je komplet od firmy Phywe a sestává z několika drátů (různých délek, průměrů i materiálů; obrázek B.49) uzpůsobených pro uchycení do stativu a připevnění tělesa tvořícího setrvačnick.

Délku periody kmitání torzního kyvadla měříme stopkami a to postupně pro různé dráty představující zkrutné vlákno.



Obrázek B.48: (vlevo) Sestavená aparatura - torzní kyvadlo. Setrvačnick představuje tyč se závažími připevněnými na jejich koncích. Závaží zvyšují moment setrvačnosti.

Obrázek B.49: (vpravo) Dráty používané jako zkrutná vlákna pro torzní kyvadlo. Zleva: Hliník $R = 1 \text{ mm}$, $L = 300 \text{ mm}$; Hliník $R = 1 \text{ mm}$, $L = 400 \text{ mm}$; Hliník $R = 1,5 \text{ mm}$, $L = 500 \text{ mm}$; Hliník $R = 2 \text{ mm}$, $L = 500 \text{ mm}$; Hliník $R = 1 \text{ mm}$, $L = 500 \text{ mm}$; Mosaz $R = 1 \text{ mm}$, $L = 500 \text{ mm}$; Měď $R = 1 \text{ mm}$, $L = 500 \text{ mm}$; Ocel $R = 1 \text{ mm}$, $L = 500 \text{ mm}$.

B.11.3 Výsledky měření

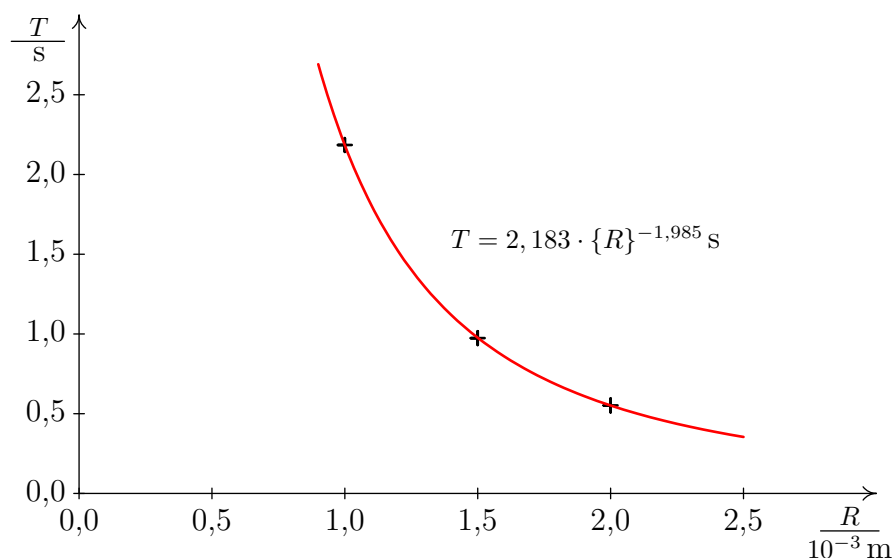
Naměřená data jsou shrnuta v tabulce E.22 v příloze E.5 na CD. Z těchto hodnot zjistíme, že periody kmitání torzních kyvadel sestávající z vláken stejných rozměrů ale různých materiálů, můžeme uspořádat následujícím způsobem:

$$T_{\text{ocel}} < T_{\text{měď}} < T_{\text{mosaz}} < T_{\text{hliník}} \quad (\text{B.59})$$

Na základě rovnice (B.57) a uspořádání period (B.59) pak usoudíme, že moduly pružnosti ve smyku použitých materiálů seřadíme takto:

$$G_{\text{hliník}} < G_{\text{mosaz}} < G_{\text{měď}} < G_{\text{ocel}} \quad (\text{B.60})$$

Závislost periody kmitání torzního kyvadla na poloměru průřezu drátu představujícího zkrutný závěs zachycuje graf na obrázku B.50. Naměřená data byla získána pro hliníkové dráty délek 0,5 m a různých průměrů (viz tabulka E.22 v příloze E.5 na CD). Jak je patrné z funkčního předpisu křivky proložené naměřenými daty, výsledek velmi dobře odpovídá předpokládané závislosti, viz rovnice (B.57). Relativní odchylka experimentálně určeného exponentu je $\delta k_R = ((2 - 1,985) / 2) \cdot 100\% \doteq 0,8\%$.

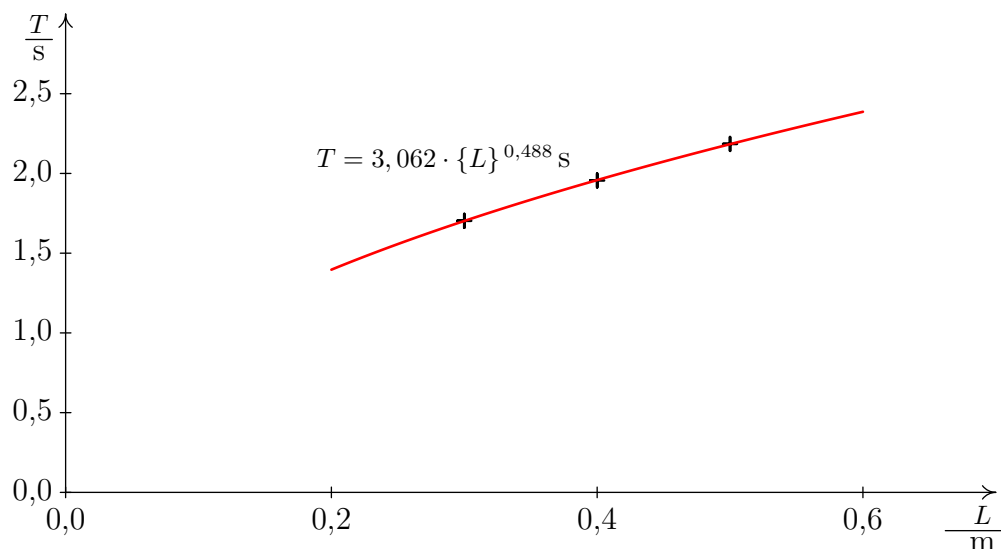


Obrázek B.50: Závislost periody kmitání torzního kyvadla na poloměru průřezu zkrutného vlákna. Jako vlákno byly použity hliníkové dráty.

Závislost periody kmitání torzního kyvadla na délce zkrutného drátu zachycuje graf na obrázku B.51. Naměřená data byla získána pro hliníkové dráty o průměrech 2 mm a různých délkách, viz. tabulka E.22 v příloze E.5 na CD. Z funkčního předpisu proloženého vynesnými body je patrné, že naměřená data dobře odpovídají teoretické závislosti (B.57). Relativní odchylka experimentálně určeného exponentu a teorií předpovídaného je $\delta k_L = ((0,5 - 0,4878) / 0,5) \cdot 100\% \doteq 2\%$.

B.11.4 Pracovní list

Experiment je součástí tematického programu *Mechanické kmitání a mechanika tuhého tělesa*. Pracovní list k připravené aktivitě je v příloze C na straně 301.



Obrázek B.51: Závislost periody kmitání torzního kyvadla na délce zkrutného vlákna. Jako vlákno byly použity hliníkové dráty.

Použitá aparatura není příliš komplikovaná a její použití by nemělo studentům činit potíže. Z toho důvodu není daný postup příliš detailní. Studentům jsou však v krátkosti představeny vztahy popisující zkoumanou oblast a předloženy další informace, na jejichž základě mají přijít s vlastními odhady, jak vypadají závislosti periody kmitání torzních kmitů na délce a na poloměru příčného řezu zkrutného vlákna (drátu). Rovněž seřadí vybrané materiály podle velikosti modulu pružnosti v torzi. Svoje předpovědi následně studenti ověří experimentem. Pracovní list proto rovněž obsahuje prostor (tabulky, předlohy grafů, ...) pro záznam naměřených dat a jejich zpracování.

B.11.5 Shrnutí a zkušenosti

Použitá aparatura od firmy PHYWE je přehledná, bohužel však obsahuje poměrně málo vzorků (drátů), které je možné zkoumat. Při zkoumání závislosti periody kmitání torzního kyvadla na délce a poloměru průřezu tak studenti získají grafy obsahující „pouze“ tři body. Na druhou stranu nejsou aktivity časově náročné a studenti bez problémů stíhají proměřit všechny tři závislosti.

Měření typicky probíhá tak, že studenti postupně vyměňují dráty a proměří periody kmitání se všemi dráty. Tyto údaje zapisují do jedné tabulky. Naměřené údaje následně interpretují. Aby tak mohli učinit, musí přijít na to, která data jsou pro popis zkoumané závislosti relevantní. To nemusí být na první pohled zcela

zřejmé, neboť jedno z měření (pro hliníkový drát délky 500 mm a poloměru průřezu 1,0 mm) je použito při zkoumání všech závislostí. Tuto nutnost přemýšlet o tom, které z naměřených údajů je možné na co využít, považuji za velmi přínosný prvek takto uspořádaného měření.

Výsledky, které studenti získávají jsou srovnatelné s těmi, které jsou předloženy v této práci. Typicky se odchylka hledaných exponentů od teoreticky předpokládaných i u studentských experimentů pohybuje do pěti procent. Na základě našich zkušeností z práce se studenty lze říci, že poté, co se studenti seznámí s pojmem *modul pružnosti v torzi*, který je pro ně obdobou tuhosti pružiny a tudíž poměrně snadno uchopitelný, potýkají se v této aktivitě nejvíce se svými vlastními manuálními dovednostmi. Vyžadujeme (pracovníci IFL) po nich, aby dráty upevňovali do stativů svisle, aby se nekroutily a neponičily - to pro mnoho studentů není lehké. Zhruba polovina účastníků má rovněž problém s vynesemím naměřených dat do grafu a jejich následným proložením mocninnou funkcí v programu MS Excel.

C. Pracovní listy

Na následujících stránkách jsou pracovní listy pro studenty přicházející do IFL a to k následujícím experimentům.

Elektrostatika

Platí Coulombův zákon? Pole nabité koule.	str. 258
Deskový kondenzátor a jak v něm měřit pole.	str. 270

Rotující soustavy

Dostředivá síla.	str. 277
Rotující kuličky.	str. 281
Kapalina v rotující nádobě.	str. 285
Lodičky na rotující hladině.	str. 289

Kmitání a mechanika tuhého tělesa

Moment setrvačnosti.	str. 292
Moment setrvačnosti - pomocná tabulka.	str. 296
Kmitání na pružině.	str. 297
Pohlovo kyvadlo.	str. 298
Torzní kmity.	str. 301

Platí Coulombův zákon? Pole nabité koule.

Návody na pokusy

Tato sada pokusů je rozdělena do tří samostatných experimentálních částí:

1. Proměňování Coulombova zákona
2. Intenzita elektrického pole v okolí nabitého kulového vodiče
3. Elektrický potenciál v okolí nabitého kulového vodiče

Obecné pokyny:

- Během všech měření si dělejte poznámky a zapisujte si výsledky experimentů.
- V závěru laboratorních prací budete mít (jako skupina) vyhrazený čas přibližně 5 minut, abyste spolužákům (během krátké prezentace) představili pokusy, na kterých jste pracovali, a jaké byly vaše výsledky.
- **Důležité:** Před tím, než začnete s přístroji pracovat, budete proškoleni v jejich používání. Žádný z nich sami do zásuvky nezapojujte! Po sestavení obvodu, před tím než zapnete zdroj, si nechte obvod zkontrolovat!!

Pomůcky (co je dobré si vzít sebou na měření):

- Psací potřeby, papír
- Flashdisk (na vytvořené grafy)
- Fotoaparát
- Kalkulačku

Komentář:

Na následujících stranách naleznete zadání úkolů k jednotlivým pokusům, stručnou teorii a postupy, podle kterých budete provádět měření.



Část 1: Proměřování Coulombova zákona

Před zahájením měření si pečlivě prostudujte celý tento návod.

- 0) Seznamte s fungováním digitálních vah a zdroje vysokého napětí.
- 1) Demonstrujte vzájemné působení
 - a. dvou souhlasně nabitých kuliček.
 - b. dvou nesouhlasně nabitých kuliček.
 - c. nabité kuličky a vodiče.
- 2) Ověřte závislost velikosti působící síly mezi kuličkami
 - a. na velikosti náboje na jedné z nich.
 - b. na vzdálenosti středů nabitých kuliček.

Doplňkové úkoly pro zájemce

- Co se bude dít, pokud budeme kuličku přibližovat odjinud než shora? Co ukážou váhy? Jak pozorovaný jev vysvětlíme?
- Jak je přibližně velký náboj na kuličkách?
- Jak souvisí velikost náboje na kuličce s její kapacitou?

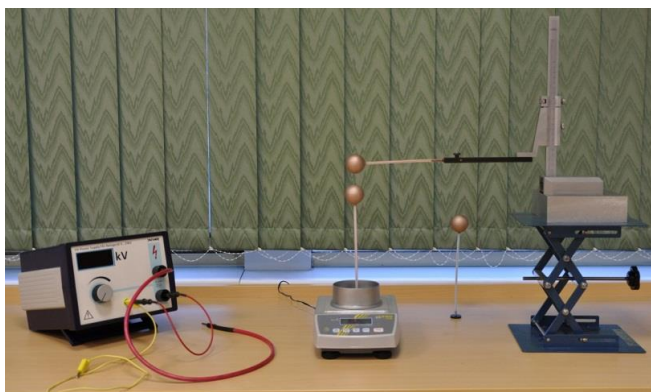
Stručná teorie a princip měření

Dva bodové náboje (případně kuličky, na nichž je náboj rovnoměrně rozložen) na sebe působí silou

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{|Q_1 \cdot Q_2|}{r^2},$$

kde Q_1, Q_2 jsou velikosti nábojů hmotných bodů, r je jejich vzdálenost a ϵ je permitivita prostředí, ve kterém se náboje nachází.

Váhy měří tíhu a ukazují hmotnost na nich položeného tělesa. Stačí však provést jednoduchou matematickou operaci a z tohoto údaje získáme velikost síly, která je na váhy přitlačuje. Váhy pak můžeme použít jako velmi přesný siloměr.



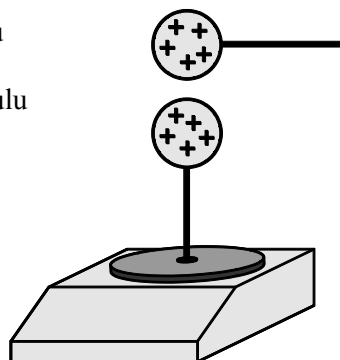
Aparatura ke zkoumání elektrických sil



Postup

Úkol 1a

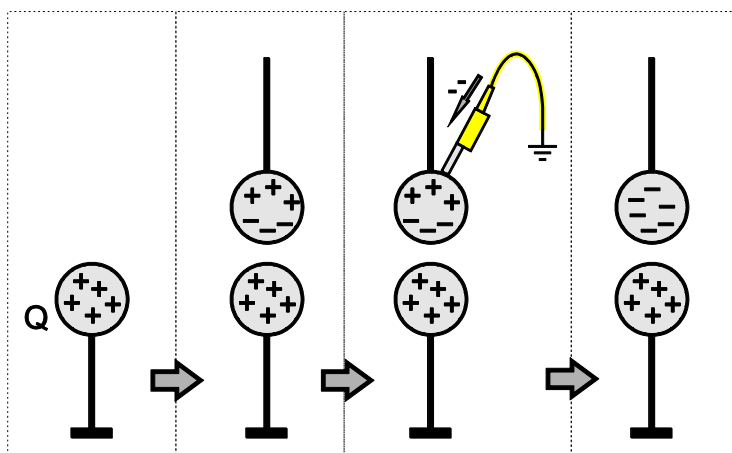
1. Jednu z kuliček na stojánku postavíme na váhy, druhou držíme v jedné ruce nebo ji upevníme do stativu.
2. Zapneme váhy. (Váhy se po zapnutí vždy nastaví na nulu – i pokud na nich něco stojí).
3. Každou z kuliček nabijeme dotykem vývodu jednoho pólu vysokonapěťového zdroje. Kuličky nabíjíme na potenciál 10 kV.
4. Poté kuličky přiblížíme tak, aby byly nad sebou (ve vzdálenosti cca 3-5 cm).
5. Pozorujeme displej vah.
6. Zapišeme si výsledky pozorování a interpretujeme je.



Úkol 1b

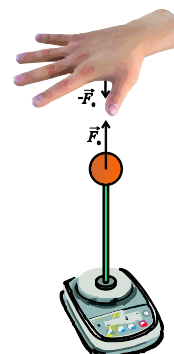
K získání dvou opačně nabitých kuliček využijeme elektrostatickou indukci. Předpokládáme, že máme zdroj kladného náboje.

1. Jednu z kuliček nabijeme kladně.
2. Druhou nenabitou kuličku k ní přiblížíme. Dojde k elektrostatické indukci a náboje na druhé kuličce se přerozdělí. Spodní strana druhé kuličky se jeví záporně nabitá.
3. Druhé kuličky se krátce dotkneme uzemněným vodičem. Tím přivedeme na druhou kuličku další elektrony
4. Po odstranění vodiče je druhá kulička záporně nabitá.
5. Jednu z kuliček upevníme do stativu, druhou na váhy a přiblížíme je k sobě tak, aby byly nad sebou (ve vzdálenosti cca 3-5 cm).
6. Pozorujeme displej vah.
7. Zapišeme si výsledky pozorování a interpretujeme je.

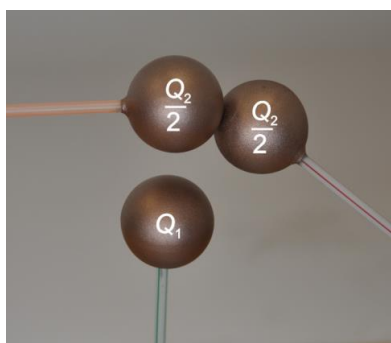


Úkol 1c

1. Na váhy umístíme kuličku na stojánek a nabijeme ji dotykem vývodu VN zdroje.
2. Shora ke kuličce přibližujeme vodič (drát, lidská ruka, hliníková fólie, ...).
3. Pozorujeme displej vah.
4. Zapišeme si výsledky pozorování a interpretujeme je.

*Úkol 2a*

1. Pokus nastavíme jako v úkolu 1a. (Dvě shodně nabité kuličky nad sebou, jedna stojí na vahách, druhá je ve stativu.)
2. Třetí (vybitou) kuličkou se dotkneme kuličky ve stativu. Dotyk provádíme mimo dosah kuličky na vahách.
3. Pozorujeme, jak se mění velikost působící síly mezi jednotlivými dotknutími.
4. Zapišeme si výsledky pozorování a interpretujeme je.

*Úkol 2b**Dodatek k teorii*

Pokud jsou tělesa, jejichž vzájemné elektrické působení zkoumáme, dvě vodivé duté kuličky, musíme brát v úvahu i to, že se náboj na jejich povrchu může pohybovat, jeho rozložení není rovnoměrné a efektivní pozice celkového náboje již není ve středu kuliček. V případě přitahování (jedna kulička nabitá kladně, druhá záporně) se náboje na kuličkách nahnou blíže k bližšímu okrajům kuliček a „těžiště“ elektrického náboje se tak přesune blíže, než jsou středy kuliček. V případě odpuzování (kuličky nabité souhlasně), je tomu přesně opačně – efektivní vzdálenost celkových nábojů kuliček bude větší, než je vzdálenost středů kuliček. Míra tohoto efektu závisí na geometrii dané situace – jaký mají kuličky poloměr a jak jsou od sebe daleko. Velikost síly působící mezi takovými dvěma kuličkami bude jiná než, kdyby byly náboje na jejich površích rozloženy rovnoměrně. Za předpokladu, že obě kuličky mají stejný náboj Q , vzdálenost středů kuliček je r , a jejich poloměr je R , je její přibližná velikost dána vztahem



$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q^2}{r^2} \left(1 - 4 \left(\frac{R}{r} \right)^2 \right).$$

Tento efekt se projeví především při snaze o přesné kvantitativní měření, tj. v úkolu 2b. Po zadání námi naměřených údajů do programu Logger Pro připravené nastavení automaticky vypočítá hodnoty síly, které by odpovídaly tomu, že se náboj na kuličkách nepohnul a její závislost na vzdálenosti by tak měla odpovídat Coulombovu zákonu.

Postup

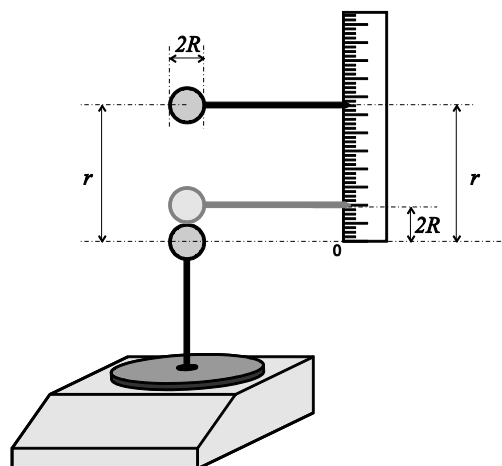
1. Pokus nastavíme jako v úkolu 1a. (Dvě shodně nabité kuličky nad sebou, jedna stojí na vahách, druhá je ve stativu.) Kuličky však nyní nabíjíme na vyšší potenciál cca 20 - 25 kV.
2. Začínáme s kuličkami ve vzdálenosti 12 – 13 cm a postupně je po krocích (1 cm) přibližujeme. Do připravené tabulky zaznamenáváme, jak se mění údaj na vahách.
3. Zjištěné údaje (vzdálenost a příslušná velikost naměřené síly) zapíšeme do připraveného nastavení programu Logger Pro.
4. Program automaticky dopočítá velikosti síly, které by odpovídaly síle, kdyby se náboje na kuličkách nepřesunuly. Následně vynese závislosti obou sil (naměřené síly i síly s korekcí) na vzdálenosti do jednoho grafu.
5. Obě sady bodů proložíme postupně křivkami, které budou dány mocninnou závislostí ($y = A x^B$).
6. Výsledky pozorování si zapíšeme a interpretujeme.



Návrh tabulky pro záznam dat (úkol 2b)

(Závislost působící elektrické síly na vzdálenosti středů kuliček)

Poloměr kuličky: $R =$

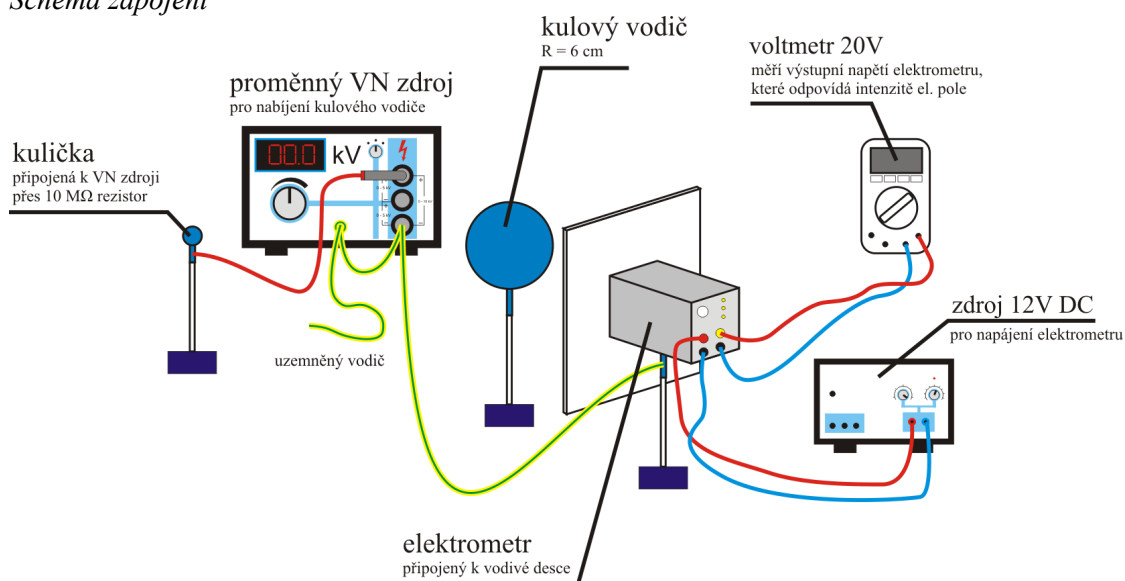
[illegible]

Část 2: Intenzita elektrického pole v okolí nabitého kulového vodiče

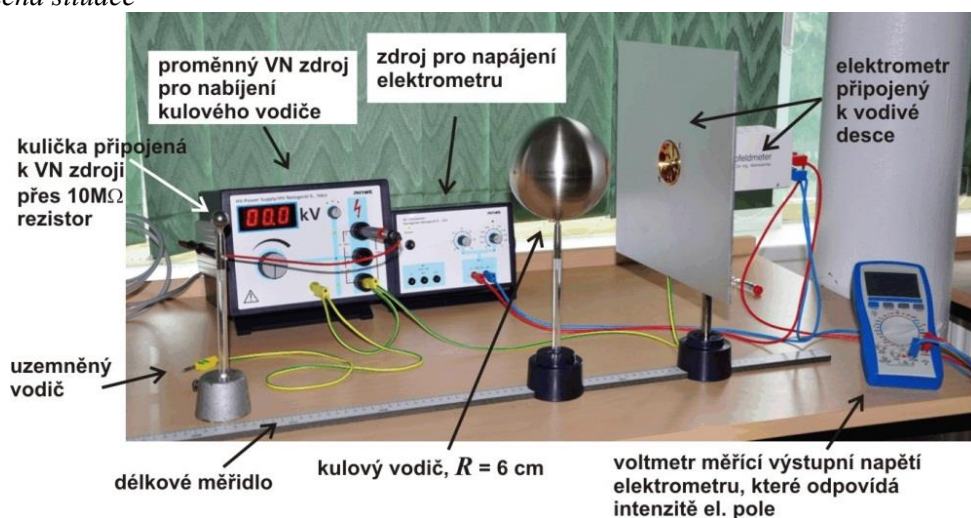
Úkoly

- 1) Podle obrázku sestavte aparaturu a seznamte se s jejím fungováním.
- 2) Proměřte a s teorií porovnejte průběh intenzity elektrického pole na
 - a. náboji na kouli, resp. potenciálu, na který je koule připojena. (Měření proveďte pro dvě různé koule.)
 - b. vzdálenosti od středu nabitého kulového vodiče.

Schéma zapojení



Skutečná situace



Stručná teorie a princip měření

Známy vztah pro elektrickou intenzitu v okolí nabité koule

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{|Q|}{r^2}$$

nebudeme ověřovat přímo. Vzhledem k použitému přístroji (elektrometru, který je zabudovaný ve vodivé desce) musíme rovnici upravit. Elektrometr měří intenzitu v místě otvoru v desce, do kterého je zasunuta jeho pozlacená část. Z tohoto důvodu je třeba ověřovat rovnici

$$E = \frac{1}{2\pi\epsilon} \cdot \frac{|Q|}{r^2} \text{ respektive rovnici } E = \frac{2R}{r^2} \cdot U.$$

které udávají velikost intenzity elektrického pole (v závislosti na náboji Q na koule s poloměrem R (resp. napětí U , na které je proti zemi přivedena)) uprostřed vodivé desky, jež je od středu koule ve vzdálenosti r .

Postup

Úkol 1

Pod dohledem se seznámte s fungováním aparatury (především si ujasněte přepínání rozsahů na elektrometru). Měření si vyzkoušejte na následujícím příkladu: kulový vodič nabijte na napětí 10 kV proti zemi a ve vzdálenosti 20 cm od středu koule určete intenzitu elektrického pole.

Úkol 2a

Měření proved'te pro dutou vodivou kouli o poloměru 6 cm a to ve vzdálenostech $r = 25$ cm a $r = 50$ cm.

Postupujte v krocích, kdy kouli vždy nabijete dotykem kabelu připojeného k výstupu VN zdroje na dané napětí proti zemi, kouli umístěte do požadované vzdálenosti, změřte elektrickou intenzitu a poté kouli vybijte dotykem uzemněného vodiče. (Nabíjení provádějte v dostatečné vzdálenosti od uzemněné desky elektrometru.) Celou proceduru takto několikrát opakujte pro různé napětí zdroje - napětí doporučujeme zvyšovat od 0 kV do 10 kV po krocích o velikosti 1 kV.

Práce na PC: Naměřené údaje vyneste do grafu. Experimentálně nalezenou závislost $E(U)$ porovnejte s teoretickým předpokladem.

Úkol 2b

Závislost elektrické intenzity na vzdálenosti měříme obdobně. V dostatečné vzdálenosti od elektrometru kouli nabijte na určitý potenciál, umístěte ji do požadované vzdálenosti od desky elektrometru a změřte velikost elektrické intenzity, následně kouli vybijte. Tyto kroky opakujte pro různé vzdálenosti koule od elektrometru. Při tomto experimentu používejte kouli o poloměru 6 cm. Zkoumanou závislost proměřte dvakrát, pro různé napětí koule proti zemi (5 kV a 10 kV). Vzdálenost desky a středu koule volte v rozmezí 12 - 30 cm.

Práce na PC: Naměřené údaje vyneste do grafu. Experimentálně získanou závislost $E(r)$ porovnejte s teoretickým předpokladem.



Návrh tabulky pro záznam dat (úkol 2b)Poloměr koule: $R = 6 \text{ cm}$ Potenciál koule: $\varphi =$

$\frac{r}{\text{m}}$	$\frac{E}{\text{kV/m}}$		$\frac{r}{\text{m}}$	$\frac{E}{\text{kV/m}}$

Poloměr koule: $R = 6 \text{ cm}$ Potenciál koule: $\varphi =$

$\frac{r}{\text{m}}$	$\frac{E}{\text{kV/m}}$		$\frac{r}{\text{m}}$	$\frac{E}{\text{kV/m}}$

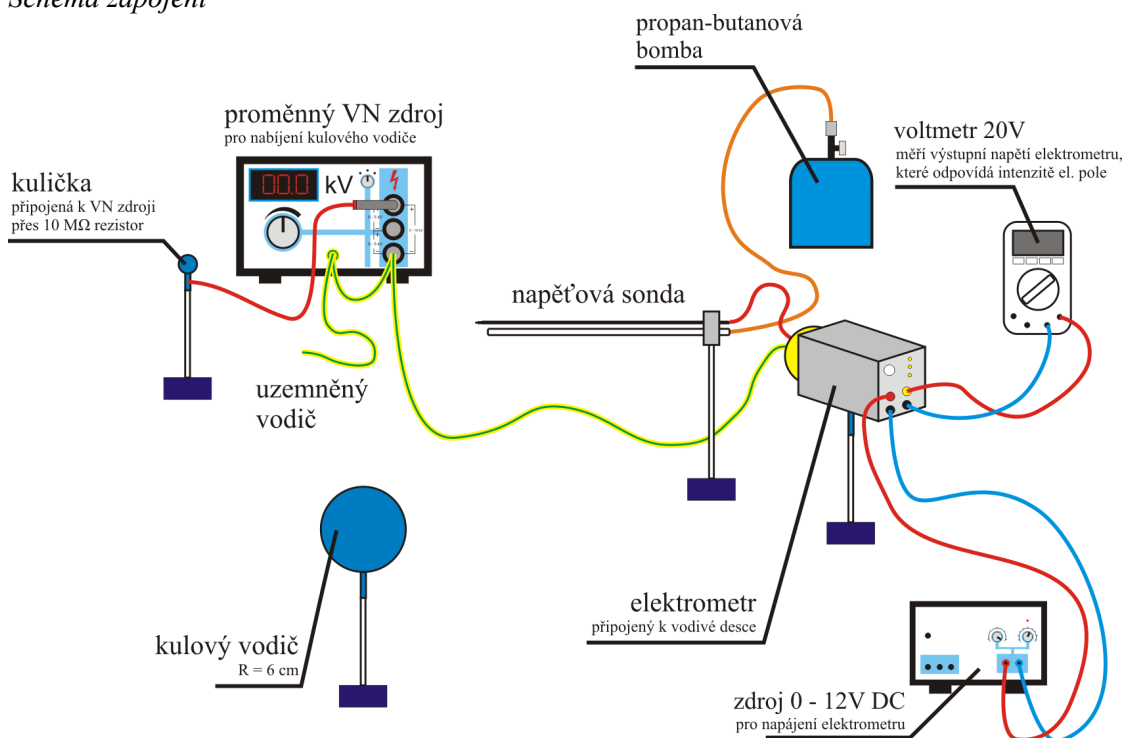


Část 3: Elektrický potenciál v okolí nabitého kulového vodiče

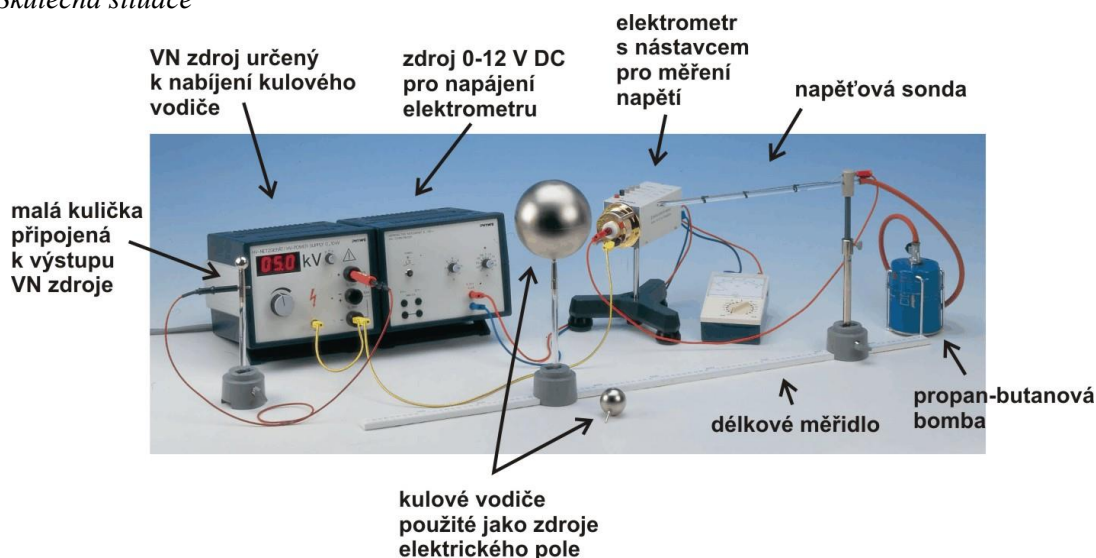
Úkoly

- 1) Podle obrázku sestavte aparaturu a seznámte se s jejím fungováním.
- 2) Proměřte a s teorií porovnejte závislost elektrického potenciálu elektrického pole
 - a. na náboji na kouli (napětí koule proti zemi);
 - b. na vzdálenosti od středu nabitého kulového vodiče.

Schéma zapojení



Skutečná situace



Stručná teorie

Teorie předpovídá, že elektrický potenciál φ v okolí kulového vodiče závisí na vzdálenosti r od středu kulové plochy podle vztahu

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q}{r}, \quad (1)$$

kde Q je náboj na kouli. Pokud kouli nabíjíme pomocí vysokonapěťového zdroje na napětí U proti zemi, pak na takový kulový vodič o poloměru R přivedeme náboj o velikosti $Q = 4\pi\epsilon R \cdot U$, z čehož plyne, že rovnice pro potenciál může být přepsána jako

$$\varphi = \frac{R}{r} \cdot U, \quad (2)$$

Komentář k měření

Při měření budeme přímo určovat veličiny φ , U , r . Pro ověření závislostí $\varphi(r)$ a $\varphi(U)$ tak můžeme používat vztah (2).

Postup

Úkol 1

Pod dohledem se seznámte s fungováním aparatury. Měření si vyzkoušejte na následujícím příkladu: kulový vodič nabijte na potenciál 10 kV a ve vzdálenosti 20 cm od středu koule určete velikost potenciálu elektrického pole.

Pozn.: Sonda měří elektrický potenciál (napětí vůči zemi) v místě hrotu, který je umístěn v mírném plameni (cca 5 mm plamen).

Úkol 2a

Při určování závislosti $\varphi(Q)$ potenciálu na náboji na kouli [resp. $\varphi(U)$ potenciálu elektrického pole na napětí koule proti zemi] ponecháváme konstantní vzdálenost koule a sondy a měníme velikost napětí na VN zdroji, kterým nabíjíme kouli. Napětí zvyšujeme po 0,5 kV.

Měření provádíme pro kouli o poloměru 6 cm.

Naměřené hodnoty si zapisujete do tabulky a posléze v počítači vytvořte graf závislosti $\varphi(U)$ a ověřte, zda závislost je skutečně lineární.

Úkol 2b

Při určování závislosti $\varphi(r)$ potenciálu na vzdálenosti od zdroje ponecháváme konstantní napětí VN zdroje a měníme vzdálenost koule od hrotu sondy. Je vhodné volit napětí VN zdroje cca 1 kV.

Práce na PC: Naměřené údaje vyneste do grafu. Experimentálně nalezenou závislost $\varphi(r)$ porovnejte s teoretickým předpokladem, že jde o nepřímou úměru.

Pozn.: Pro zápis měření si načrtněte podobné tabulky jako v části 2.



Deskový kondenzátor a jak v něm měřit pole

Návody na pokusy

Tato sada pokusů je rozdělena do tří samostatných experimentálních částí:

1. Experimenty s jednoduchým deskovým kondenzátorem
2. Intenzita elektrického pole uvnitř deskového kondenzátoru
3. Elektrický potenciál uvnitř deskového kondenzátoru

Obecné pokyny:

- V první části pracujete ve dvojicích (samozřejmě vzájemná pomoc a spolupráce je povolena), ve druhé a třetí pracujete jako jedna čtyřčlenná skupina.
- Během všech měření si dělejte poznámky a zapisujte si výsledky experimentů.
- V závěru laboratorních prací budete mít (jako skupina) vyhrazený čas přibližně 5 minut, abyste spolužákům (během krátké prezentace) představili pokusy, na kterých jste pracovali, a jaké byly vaše výsledky.
- **Důležité:** Před tím, než začnete s přístroji pracovat, budete proškoleni v jejich používání. Sami žádný z nich sami nezapojíte do zásuvky! Po zapojení obvodu, před tím než zapnete zdroj, si nechte obvod zkontrolovat!!

Pomůcky (co je dobré si vzít sebou na měření):

- Psací potřeby, papír
- Flashdisk (na vytvořené grafy)
- Fotoaparát
- Kalkulačku

Komentář:

Na následujících stranách naleznete zadání úkolů k jednotlivým pokusům, stručnou teorii a postupy, podle kterých budete provádět měření.



Část 1: Experimenty s jednoduchým deskovým kondenzátorem

Před zahájením měření si pečlivě prostudujte celý tento návod.

Úkoly:

- 1) Podle návodu sestavte jednoduchý deskový kondenzátor
- 2) Ověřte závislost kapacity deskového kondenzátoru
 - a. na vzdálenosti desek
 - b. na velikosti desek
- 3) Určete permitivitu papíru a skla.

Stručná teorie a princip měření

Kapacita deskového kondenzátoru závisí na jeho parametrech podle vztahu

$$C = \varepsilon \frac{S}{d}, \quad (1)$$

kde ε je elektrická permitivita prostředí mezi deskami, S je účinná plocha desek a d je vzdálenost mezi deskami. Jednotkou kapacity je 1 farad (1 F).

Pro výrobu jednoduchého kondenzátoru použijeme obyčejný alobal (z něj vytvoříme desky), jako dielektrikum pro jejich oddělení použijeme papír, sklo, ...

Pro měření kapacity použijeme multimetr, který tuto možnost nabízí.



Postup



Úkol 1

1. Odtrhneme/ustříhneme dvě hliníkové fólie (přibližně rozměru stránky knihy)
2. Tyto dvě fólie budou tvořit desky kondenzátoru
3. Vložíme je do knihy a oddělíme je několika listy
4. Tím je kondenzátor hotov
5. Jeho kapacitu určíme multimetrem

Úkol 2a

Postupně měníme počet listů (např. 10, 20, 30, ...) mezi fóliemi a přitom sledujeme, jak se mění kapacita kondenzátoru. Naměřené hodnoty si zapisujeme. Poté vyneseme graf. Vzhledem k tomu, že chceme pouze ověřit nepřímou úměru mezi kapacitou a vzdáleností desek, můžeme vzdálenost udávat v počtech listů.

Úkol 2b

Postupně zmenšujeme plochu desek (resp. jedné z nich) a sledujeme, jak se mění kapacita kondenzátoru. Stejně jako v úkolu 2a vyneseme závislost. Velikost desek opět nemusíme udávat v m^2 , ale například v dílech původní plochy desek.

Úkol 3

Naším cílem v tomto úkolu je určit permitivitu materiálu mezi fóliemi (deskami kondenzátoru). Nyní vytvoříme kondenzátor tak, že mezi fólie umístíme měřený materiál, změříme parametry kondenzátoru (C , S , d) a vypočteme permitivitu.



Část 2. Elektrická intenzita uvnitř deskového kondenzátoru

Úkoly

- 1) Sestavte aparaturu a seznámte se s jejím fungováním.
- 2) Proměřte závislost elektrické intenzity uvnitř kondenzátoru na napětí na deskách kondenzátoru.
- 3) Proměřte závislost elektrické intenzity na vzdálenosti desek kondenzátoru.

Vaše výsledky porovnejte s teoretickými předpoklady.

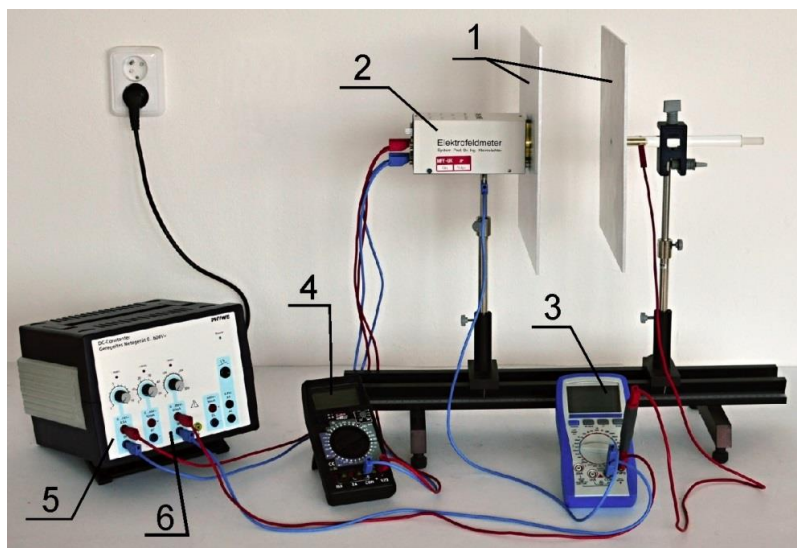
Stručná teorie a princip měření

Z teorie plyne, že intenzitu elektrického pole E uvnitř deskového kondenzátoru lze určit podle vztahu

$$E = \frac{U}{d}, \quad (2)$$

kde U je napětí mezi deskami kondenzátoru a d je jejich vzdálenost.

Pro měření elektrické intenzity použijeme elektrometr (viz obrázek), který je zabudován do jedné z desek kondenzátoru. Elektrometr nemá vlastní displej a měřené hodnoty převádí na napětí, které odečteme pomocí voltmetru a dále podle dané převodní tabulky přepočteme na měřenou intenzitu.



Obrázek: Aparatura: 1 ... desky kondenzátoru, 2 ... elektrometr, 3 ... voltmetr pro měření napětí mezi deskami, 4 ... voltmetr připojený k výstupu elektrometru - pro odečítání měřené intenzity, 5 ... napětí sondy, 6 ... napěťový zdroj 0 - 300 V pro vytvoření elektrického pole.



Postup

Úkol 1

Podle obrázku sestavte měřicí aparaturu, nechte si ji zkontrolovat a na následujícím příkladu se seznámte s principem měření. Nastavte desky kondenzátoru do vzdálenosti 20 cm, přiveďte na ně napětí 150 V a určete intenzitu elektrického pole.

Úkol 2

V této úloze prověřujeme vztah (2) tak, že d ponecháváme konstantní, U je nezávislá proměnná a E závisle proměnná.

Doporučená vzdálenost desek pro toto měření je 10 cm. Napětí měníme v rozsahu 0 – 300 V, po krocích řádově 10 – 20 V tak, abychom získali alespoň 10 bodů závislosti. Při změně napětí zaznamenáváme změnu intenzity.

Práce na PC: Vyneste graf vámi změřené závislosti a pokuste se jej fitovat přímkou. Nalezněte rovnici této přímky a porovnejte ji s teoretickou rovnicí.

Úkol 3

Nyní ověřte závislost $E(d)$, tak jak je dána opět vztahem (2). Při tomto měření doporučujeme nastavit napětí na kondenzátoru na 200 V a postupně měnit d v rozsahu 4 - 20 cm (s krokem 2 cm).

Práce na PC: Vyneste graf vámi změřené závislosti a pokuste se jej fitovat hyperbolou. Nalezněte rovnici této hyperboly a porovnejte ji s teoretickou rovnicí.



Část 3: Průběh elektrického potenciálu v nabitém deskovém kondenzátoru

Úkoly

- 1) Sestavte aparaturu a seznámte se s jejím fungováním.
- 2) Proměřte průběh elektrického potenciálu v kondenzátoru.

Vaše výsledky porovnejte s teoretickými předpoklady.

Stručná teorie a princip měření

V případě dvou opačně nabitých rovnoběžných desek platí, že mezi deskami nalezneme homogenní elektrické pole s intenzitou

$$E = \frac{U}{d} = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{d}, \quad (3)$$

kde U je napětí mezi deskami (resp. rozdíl potenciálů desek φ_1 a φ_2) a d jejich vzdálenost. V dané situaci rovněž platí, že potenciál ve vzdálenosti x např. od desky s potenciálem φ_1 je

$$\varphi = \varphi_1 + \frac{U}{d} x. \quad (4)$$

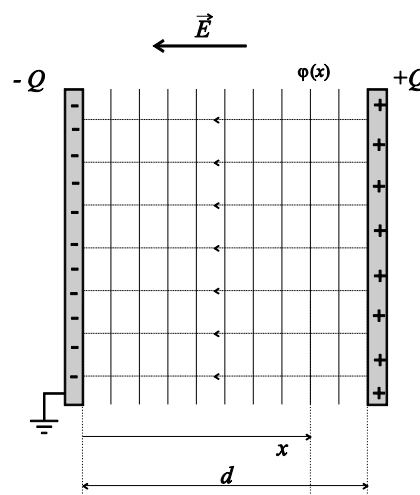
V případě, že je první deska uzemněná, pak je $\varphi_1 = 0$ V a vztah (4) se zjednoduší na

$$\varphi = \frac{U}{d} x. \quad (5)$$

Pro měření elektrického potenciálu využijeme opět elektrometr, tentokrát však s připojením napěťového nastavce. Díky tomuto nastavci nyní elektrometr měří napětí mezi jeho svorkami, přičemž jednu z nich připojíme k zemi a druhou k napěťové sondě – viz obrázek v části *Postup*.

Díky plamenu, který kolem konce sondy vytváří hořící propan-butan, elektrometr měří napětí právě mezi koncem napěťové sondy a zemí \Rightarrow toto napětí odpovídá elektrickému potenciálu v místě konce sondy.

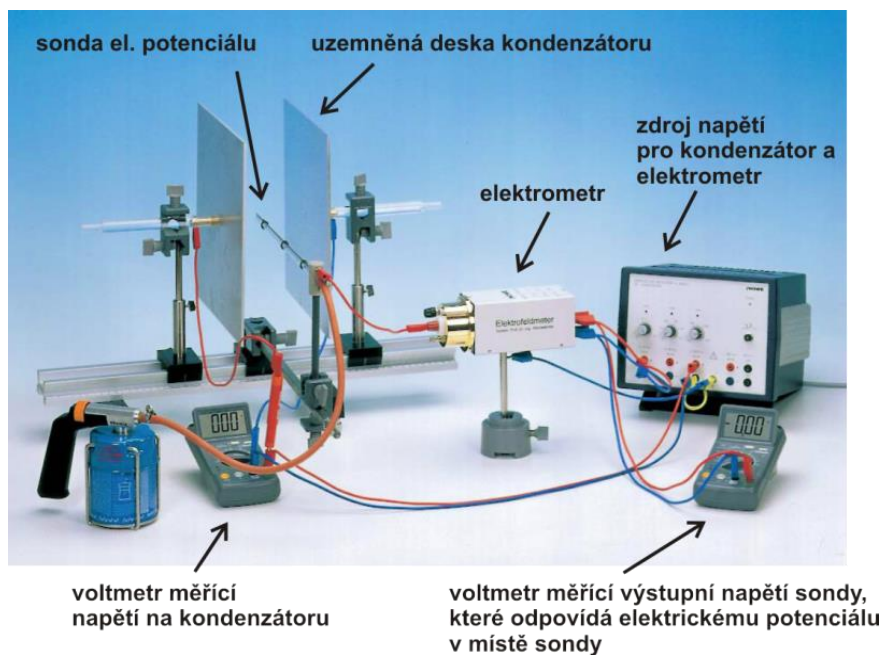
Stejně jako při měření elektrické intenzity i zde elektrometr převádí měřenou hodnotu na výstupní napětí, které měříme voltmetrem a pro získání elektrického potenciálu musíme podle zvoleného rozsahu elektrometru provést přepočet.



Postup

Úkol 1

Podle obrázku sestavte měřící aparaturu, nechte si ji zkontrolovat a na příkladu se seznámte s principem měření. Na zkoušku zkuste nastavit desky kondenzátoru do vzdálenosti přibližně 15 cm, přiveďte na ně napětí 200 V a přibližně ve středu kondenzátoru určete potenciál elektrického pole.



(Zdroj obrázku: Phywe Co.)

Úkol 2

Stejné měření jako jste provedli v úkolu 1, nyní zopakujte pro různé polohy sondy uvnitř kondenzátoru.

Doporučené nastavení:

- Desky kondenzátoru nastavte do vzdálenosti $d = 10$ cm
- Potenciál měřte pro polohy sondy $x = 1, 2, 3, \dots, 9$ cm (viz teorie)

Práce na PC:

Pro vámi změřenou závislost vynesete graf a naměřená data fitujte přímkou. Nalezněte její rovnici a porovnejte ji s teoretickou.



Dostředivá síla

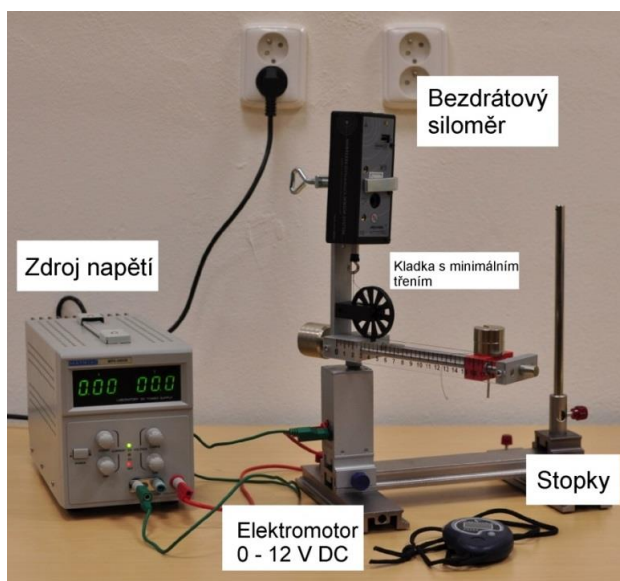
Uvedení do tématu. Teorie.

Pokud těleso hmotnosti m koná rovnoměrný pohyb po kružnici, je velikost rychlosti tělesa konstantní. Přesto tělesu přisuzujeme zrychlení. Jedná se o takzvané dostředivé zrychlení a_d , které odpovídá změně směru rychlosti. Míří do středu kružnice a je vyvoláváno výslednicí sil působících na těleso. Ta má stejný směr jako zmíněné zrychlení a nazývá se dostředivá síla \vec{F}_d .

Velikost dostředivé síly F_d může být vyjádřena několika způsoby, např. :

$$F_d = m \cdot a_d = m \cdot \frac{v^2}{r} = m \cdot \omega^2 \cdot r = m \cdot (2\pi \cdot f)^2 \cdot r = m \cdot \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot r,$$

kde v je velikost obvodové rychlosti tělesa, r je poloměr kružnice, kterou těleso opisuje, f je frekvence otáčení, ω je úhlová rychlost tělesa a T je perioda jeho otáčení. Tyto skutečnosti můžeme demonstrovat pomocí aparatury zachycené na obrázku.



Aparatura pro měření dostředivé síly

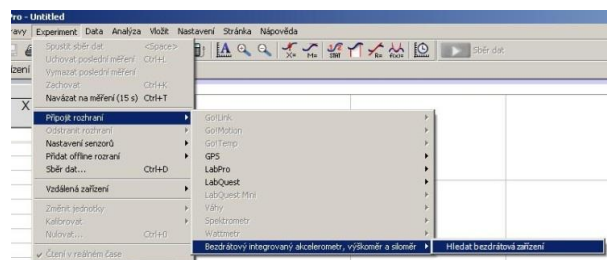
Úkol 1: ověření teorie

Pomocí zmíněné aparatury se pokuste ověřit závislost velikosti dostředivé síly F_d na periodě otáčení T .

1. Do připravené sítě načrtněte předpokládaný tvar závislosti F_d na T . Nejprve sami, poté se poradte v týmu a dohodněte se na stejné křivce.
2. Zapněte program Logger Pro, bezdrátový senzor (siloměr) a připojte jej přes Bluetooth k počítači.

Kroky:

Experiment
Připojit rozhraní
Bezdrátový integrovaný akcelerometr, výškoměr a siloměr
Hledat bezdrátové zařízení



Vyberte zařízení Born32 a stiskněte OK

3. Otevřete připravené nastavení programu:
Plocha -> „dostředivá síla vzor.cmb1“

4. Senzor nastavte tak, aby na háček nepůsobil provázek, kterým jsou připevněny „sánky“ se závažím a senzor nastavte na nulovou hodnotu.
Postup:

Stiskněte Ctrl + 0

Poté co se vám objeví okno, stiskněte OK.

5. Zapněte měření



6. Pomocí potenciometru na zdroji nastavte napětí zdroje na 4 V.

7. Změřte dobu deseti oběhů ramene se závažím.
Vypočtete T . Velikost periody zapište do tabulky.

8. Stiskněte tlačítko pro uchování měření.



Počkejte 10 s. (Počítá se průměrná hodnota veličiny.) Do políčka, které se objeví, vložte délku vypočtené periody.
Stiskněte OK.

9. Kroky 6. – 8. opakujte pro různé hodnoty napětí.
Doporučujeme zvyšovat napětí od 4 V po cca 0,6 V do 10 V tak, abyste v grafu získali alespoň deset experimentálních hodnot.

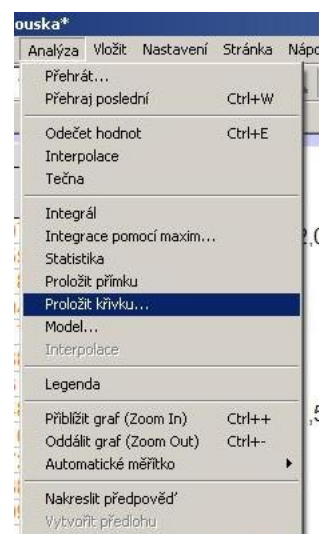
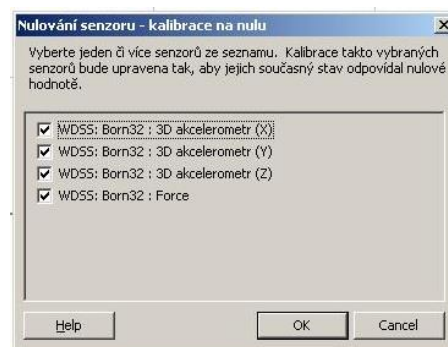
10. Po naměření poslední hodnoty stiskněte tlačítko stop.

11. Naměřené hodnoty dostředivé síly doplňte do vaší „papírové“ tabulky.

12. Vynesenými body proložte křivku tvaru AT^B .

13. Překreslete graf vytvořený pomocí LabQuestu (body + proložená křivka) do připravené čtvercové sítě.

14. Formulujte závěr plynoucí z experimentu.



Úkol 2: Určení hmotnosti neznámého tělesa v rotující soustavě

Pomocí vztahu pro dostředivou sílu uvedené v úvodu a vámi naměřených dat určete hmotnost neznámého červeného tělesa tvaru kvádry s dvěma otvory pro kolejnice, které slouží jako podstava pro závaží.

Celkovou hmotnost rotujícího tělesa (závaží + neznámé červené těleso) určete porovnáním koeficientu teoretické rovnice a rovnice křivky, kterou jste proložili vynesenými body při řešení úkolu 1.

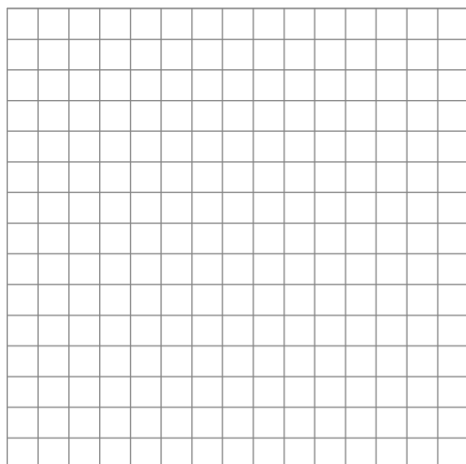
Tip: K výpočtu potřebujete určit poloměr kružnice r , po které se těleso pohybovalo.



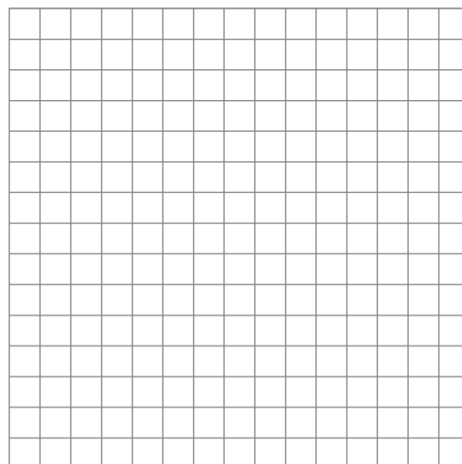
Záznamový arch

Předpověď (Graf závislosti velikosti dostředivé síly F_d na periodě otáčení T)

Individuální předpověď



Předpověď skupiny



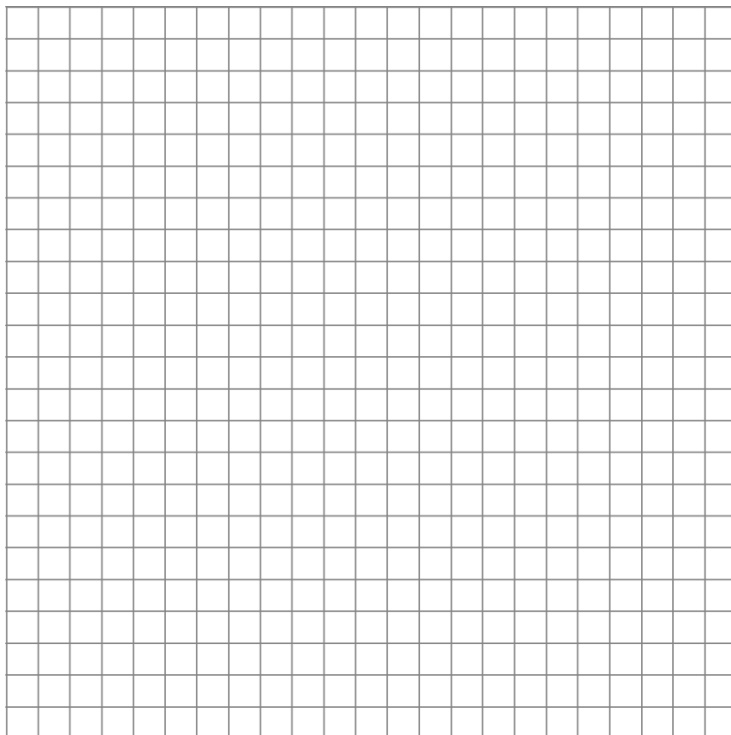
Naměřená a data

Závislost dostředivé síly na periodě..

i	$\frac{U}{V}$	$\frac{10T}{s}$	$\frac{T}{s}$	$\frac{F_d}{N}$



Graf závislosti velikosti dostředivé síly F_d na periodě otáčení T (experiment).



Hmotnost neznámého červeného tělesa

Obecná rovnice křivky $F_d =$ $\cdot \frac{1}{T^2}$ (viz teorie)

Rovnice křivky proložené vynesnými body $F_d =$ $\cdot \frac{1}{T^2}$

Poloměr otáčení $r =$

Celková hmotnost (závaží + červených sáněk) $m =$

Celková hmotnost závaží $m_z =$

Hmotnost neznámého červeného tělesa $m_C =$
(sáněk)

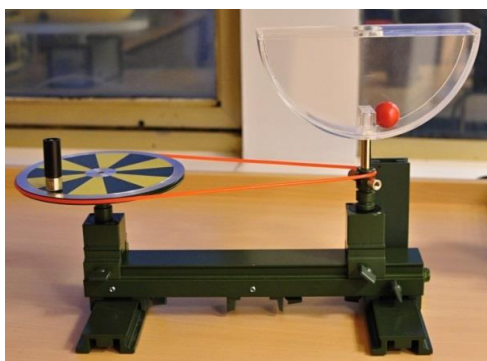
Závěr



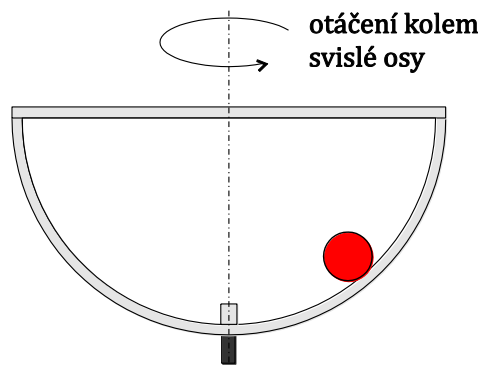
Rotující kuličky

1. Uvedení do tématu.

Sestavte aparaturu podle obrázku. Do kyvety umístěte jednu z kuliček. Kyvetu pomalu roztočte. Měli byste pozorovat, že při otáčení se kulička vychýlí z nejnižšího místa a při ustálené rychlosti otáčení se dostane do určitého místa.



Obr. 1. Aparatura pro zkoumání kuliček v rotující kyvetě



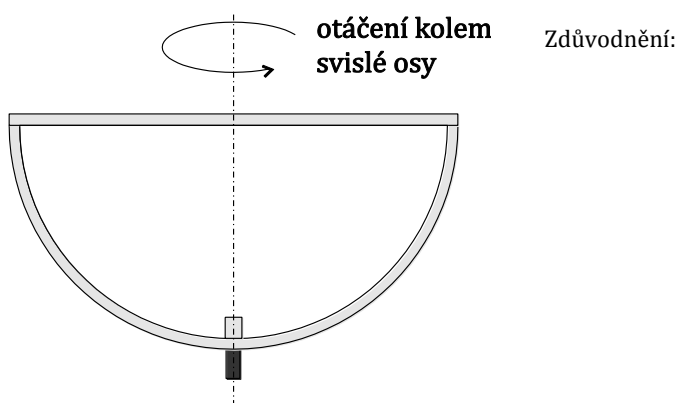
Obr. 2. Výsledek testu – kulička ve stacionární poloze vůči kyvetě.

2. Otázka / úkol

Do kyvety budou umístěny obě kuličky, stříbrná i červená, každá v jedné polovině. Kyvetu následně opět roztočíme. Která kulička bude podle vás při ustálené rychlosti otáčení výše. (Stříbrnou kuličku kreslete modře.)

3. Hypotéza

Zakreslete a запиšte svoji předpověď. Svoje odpovědi zdůvodněte.

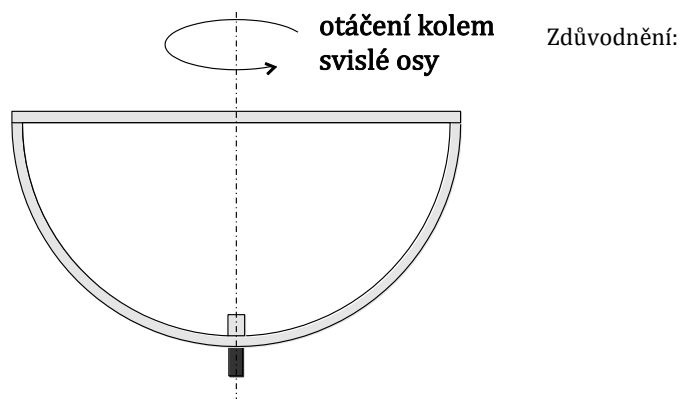


Místo pro zakreslení pozice kuliček při ustálené rychlosti otáčení kyvety.



4. Diskuze a korekce hypotézy

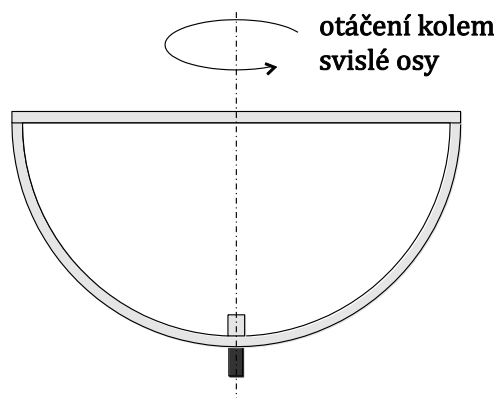
Společně s kolegy ve vašem týmu diskutujte svoje odpovědi a na základě diskuze svoji hypotézu upravte.



Místo pro zakreslení pozice kuliček
při ustálené rychlosti otáčení kyvety.

5. Experiment

Do kyvety vložte obě kuličky a svoje hypotézy ověřte. Výsledky experimentu zakreslete.



Místo pro zakreslení pozice kuliček
při ustálené rychlosti otáčení kyvety.

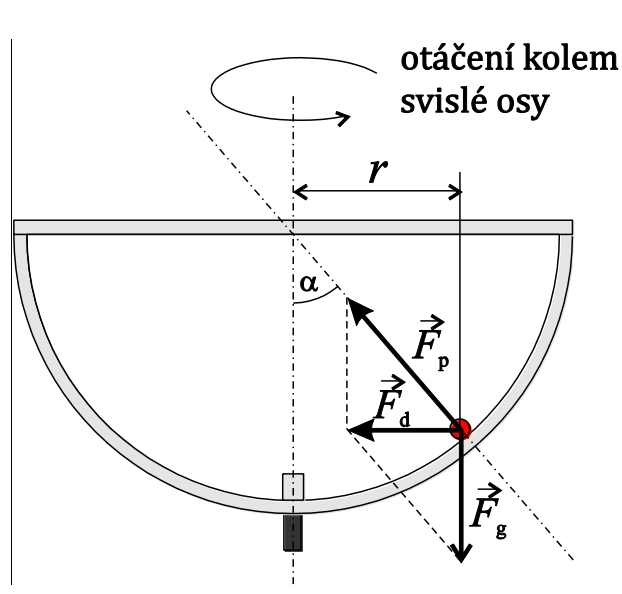


6. Teoretické odvození – vysvětlení výsledků.

Na obrázku jsou zakresleny všechny nezanedbatelné síly působící na kuličku i jejich výslednice. Ze silového digramu odvoďte vztah pro velikost úhlu α .

Vyberte, na kterých veličinách závisí poloha kuličky (úhel α). Určete, jak tento vztah souvisí s pozorováním dvou kuliček uvnitř kyvety.

Vše řešte z pohledu vnějšího pozorovatele, tj. v inerciální vztažné soustavě.



$$\tan \alpha = \frac{F_d}{F_g} =$$

Velikost úhlu α závisí na (nehodící se škrtněte):

hmotnosti kuličky m ,

úhlové rychlosti ω ,

poloměru otáčení kuličky R ,

tíhovém zrychlení g

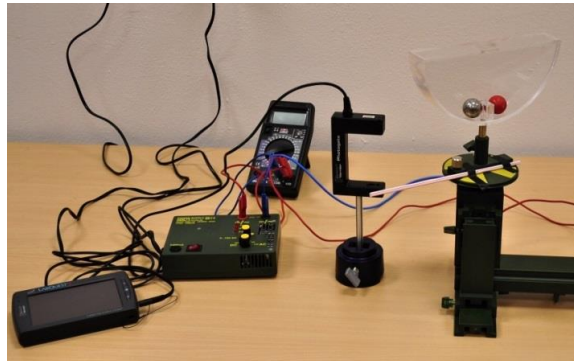
Závěr k části 5. (Jak tento výsledek souvisí předchozími experimentu (4.):



7. Ověření teorie

Pokuste se ověřit vámi odvozený teoretický vztah: Porovnejte velikost úhlu naměřenou úhloměrem připevněným ke kyvetě a velikost úhlu vypočtenou na základě poloměru otáčení r a periody otáčení T podle vztahu odvozeného v předchozí části.

K tomuto účelu upravíme aparaturu. Bude totiž potřeba držet konstantní rychlost otáčení. Z toho důvodu již nebudeme kyvetu roztáčet ručně, ale použijeme motor zabudovaný v krabici.



Pro určení periody otáčení použijeme optickou závoru připojenou k LabQuestu.

Výpočet úhlu α_1 z rovnice : $\tan \alpha_1 =$

$T =$

$r =$

Výpočet:

Úhel α_2 určený pomocí úhloměru:

$\alpha_2 =$

$\alpha_1 =$

Závěr k části 6:

8. Závěr



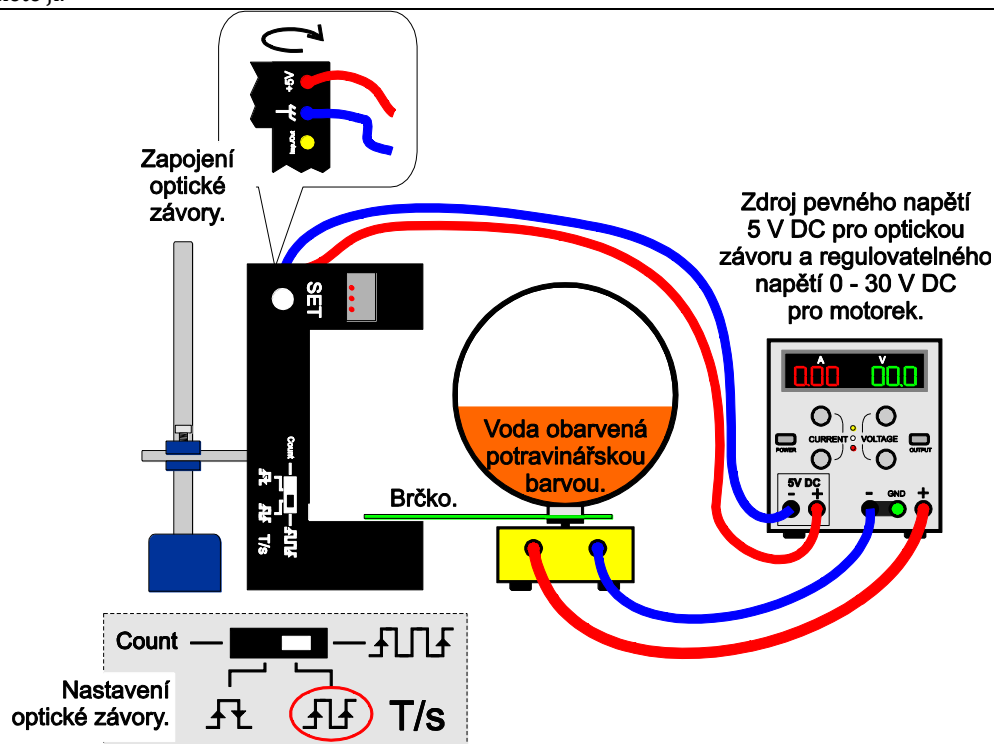
C) Kapalina v rotující nádobě

1. Uvedení do tématu.

V rotující nádobě se vlivem tření i kousky kapaliny dávají rovněž do pohybu. Díky silám, které na ně působí, získá hladina nezvyklý tvar, který se, poté co budou zmíněné kousky kapaliny vůči nádobě v klidu, ustálí. Vůči nádobě budou v klidu po dosažení stejné úhlové rychlosti, jako má nádoba.

2. Úkol. Jaký tvar bude mít hladina v nádobě rotující stálou úhlovou rychlostí?

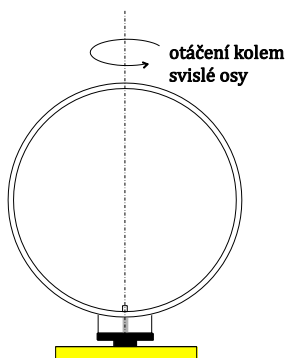
Vaším cílem v této části by mělo být, pokusit se tvar této hladiny prozkoumat a pokud možno popsat i matematicky. K tomu účelu sestavte aparaturu podle obrázku. Do kyvety nalejte obarvenou vodu a upevněte ji.



Obr. 3. Aparatura s kyvetou naplněnou obarvenou vodou.

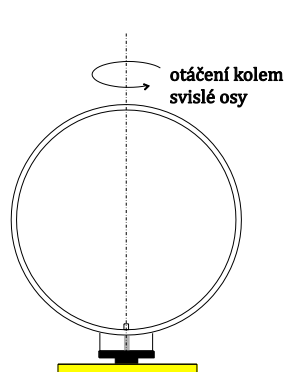
3. Hypotéza

Jaký tvar bude mít hladina poté, co kyvetu roztočíte? Zakreslete do obrázku a pokuste se slovy popsat, část jaké křivky/křivek bude hladina z profilu připomínat.



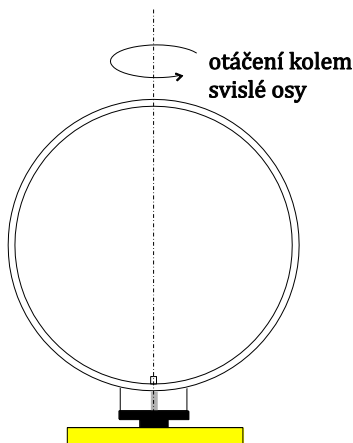
4. Diskuze a korekce hypotézy

Společně s kolegy ve vašem týmu diskutujte svoje odpovědi a na základě diskuze svoji hypotézu případně upravte.



5. Kvalitativní pozorování

Roztočte kyvetu a pozorujte výsledek. Výsledek zakreslete. Slovy popište, o jakou křivku se pravděpodobně jedná.



Slovní popis křivky:

6. Kvantitativní experiment – Určení matematického předpisu křivky

Již byste dokázali přibližný tvar hladiny nakreslit a jistě máte svůj „tip“, o jakou křivku se jedná. Raději svoji předpověď ještě zapište:

Domnívám se, že hladina kapaliny v rotující kyvetě má tvar _____.

Cílem této části je provést potvrzení této vaší (zatím pouze) domněnky.

a) Postup při experimentu

Tvar křivky budeme analyzovat v počítači. K tomu účelu je třeba profil (souřadnice bodů) hladiny přenést do počítače. Experiment proto zopakujeme, přičemž na motorek přivedeme napětí 0,7 – 0,9 V. Tentokrát však určíme i periodu otáčení (k tomu slouží optická závora) a aparaturu při pohybu vyfotografujeme. Neboť je pohyb velmi rychlý, viděli bychom při „klasickém“ nastavení fotoaparátu obrázek většinou ne z profilu, pokřivený nebo rozmazaný. Z toho důvodu nastavíme expoziční čas (čas, po který bude fotoaparát sbírat dopadající světlo) na delší dobu (cca pět sekund). Vznikne ostrý obrázek, na kterém budou zachyceny všechny polohy hladiny mnohokrát – tedy i situace, ve které je rovina kyvety kolmá k ose fotoaparátu.

Poznamenejte si velikost napětí na motorku a periodu otáčení:

$$U = \dots\dots\dots V$$


$$T = \dots\dots\dots s$$

b) Zjištění údajů z obrázku

Obrázek uložte do počítače. Spusťte program Logger Pro. Do programu vložte vaši fotografii:


„Vložit“ -> „Obrázek“ -> „Obrázek s možností analýzy...“




Nejprve nastavte rozměry. Stiskněte tlačítko , poté klikněte na jeden okraj kyvety, držte tlačítko myši a přetáhněte na druhou stranu kyvety. V dialogovém okénku nastavte skutečný rozměr kyvety, tj. 0,12 m.






Zvolte počátek souřadnicové soustavy. Stiskněte tlačítko , poté klikněte do nejnižšího místa hladiny. Zde bude zvolen počátek kartézské soustavy souřadnic xy , což poznáme podle křížení žlutých čar představujících osy.



Odečtěte souřadnice několika bodů na hladině. Stiskněte tlačítko  a klikáním levého tlačítka myši označujte postupně body na hladině. Souřadnice těchto bodů jsou automaticky odečítány a současně vynášeny do tabulky i do grafu.



Kliknutím na oblast grafu, bude graf přenesen do popředí. Stisknutím tlačítka  v horní liště spustíme okno, ve kterém dostaneme na výběr obecné předpisy křivek. Pokuste se nalézt tu, která bude nejlépe procházet skrze vynesené body. Svůj výběr diskutujte s pracovníky IFL.

Výsledný graf překreslete do připravené čtvercové sítě.

Poznamenejte si:

- obecný předpis křivky, kterou jste vybrali pro proložení vynesenými body

- název prokládané křivky

- rovnici křivky s konkrétními koeficienty pro váš experiment

c) *Rovnice křivky*

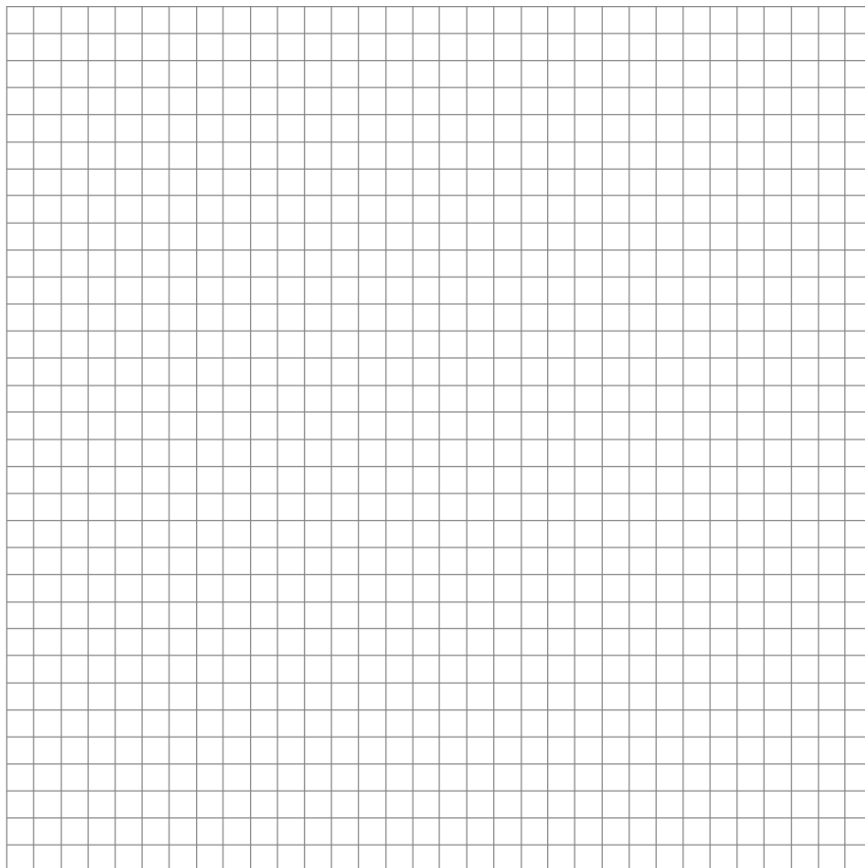
Rozhodněte, který z následujících výrazů odpovídá koeficientu A v obecném předpisu křivky:

$$\frac{\omega}{2g} \quad \frac{\omega}{2\rho} \quad \frac{\omega}{2\rho g} \quad \frac{\omega^2}{2\rho g} \quad \frac{\omega^2}{2\rho} \quad \frac{\omega^2}{2g},$$

kde ω je úhlová rychlost otáčení kapaliny, ρ je hustota kapaliny, g je tíhové zrychlení. Správnou odpověď zakroužkujte a odpověď zdůvodněte.

Zapište obecnou rovnici, kterou splňují body na hladině.



Graf: Body na rotující hladině

Závěr (Jaký tvar bude mít hladina poté, co kyvetu roztočíte?):



Lodičky na rotující hladině

1. Uvedení do tématu.

Hladina v rotující nádobě je po ustálení prohnutá, její tvar dokážeme popsat i matematicky. Kromě ustáleného tvaru může hladina vody při své rotaci získat i tvar víru – například vypouštíte-li umyvadlo, či lahev s vodou, ... Víry vytváří však i jiné rotující tekutiny – vzduch, oheň, ...

Experiment D.1

Nechte vytékat vodu z lahve a vytvořte vodní vír.

- Uvědomte si, co musíte s lahví provést, aby se vír vytvořil.
- Načrtněte si schématický obrázek znázorňující vytvořený vír.
- Pokud se vám podaří vír vytvořit, bude voda z lahve vytékat rychleji. Proč?

Poznámky:

Experiment D.2

Pomocí aparatury (viz obrázek) se pokuste vytvořit ohnivý vír.

Postup: Do misky nalejte pomocí pipety trochu technického lihu. Misku umístěte do středu koše. Pomocí špejle líh zapalte. Koš pozvolna roztočte.

- Načrtněte si schématický obrázek znázorňující vytvořený vír.
- Jak se vír změní, roztočíte-li koš na druhou stranu?
- Dokážete vysvětlit, v čem se změnila situace po roztočení a proč došlo k vytvoření ohnivého víru?
- Jak se změní situace, pokud by miska s hořícím technickým lihem nebyla umístěna v koši, ale přímo na točném?

Poznámky:



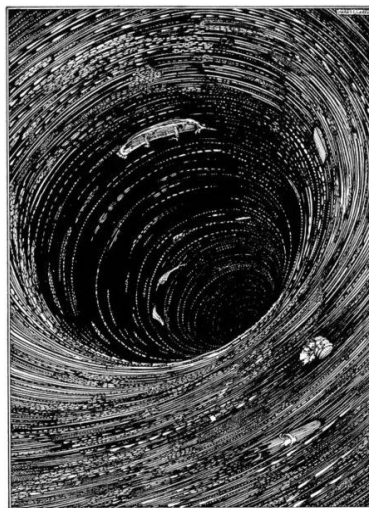
Aparatura pro vytvoření ohnivého víru



S obrovským vírem se setkal i hrdina povídky Pád do Maelströmu (A Descant into the Maelstrom) od E.A.Poe.

„...Vzpomněl jsem si na nejrozličnější plovoucí předměty rozseté po lofotských březích, myslím předměty, které nejdřív pohltit a pak vyvrhl Moskoeström. Valná většina těch věcí byla prazvláštním způsobem rozbita – byly tak odřeny a otlučeny, že působily dojmem, jako by z nich trčely třísky –, ale také jsem si jasně vybavil, že některé z nich vůbec nebyly pohmožděny. ...“

„ ... při každé otáčce jsme totiž měli něco jako sud nebo ráhno či stěžeň, jenže mnoho těch věcí, které byly na stejné úrovni s námi, když jsem poprvé otevřel oči na ty propastné divy, bylo teď vysoko nad námi a zdálo se, že se z dřívější polohy sotva pohnuly ...“



Ten se dostal z obrovského víru díky tomu, že se mu podařilo zjistit, že některé předměty padají do víru, kdežto některé naopak stoupají směrem vzhůru a dolů se nedostanou.

2. Úkol

Určete, které z předmětů plavajících blízko vodní hladiny se dostávají do jejího středu (nízko) a které by nás naopak vynesly nahoru na okraj víru.

K následujícím pokusům je nutné, aby hladina držela stabilní tvar, proto použijeme aparaturu, která sestává z motoru, na kterém je umístěna deska s plastovou nádobou. Do nádoby napustíte vodu po značku a spustíte motor. I když se nebude jednat o vír, je hladina prohnutá a to nám v dané situaci dostačuje.

V krabici máte několik modelových předmětů, na kterých můžete svoje hypotézy testovat



Aparatura pro zkoumání chování lodiček na rotující kapalině



Čelní panel motoru s ovládacími prvky pro regulaci otáček a změnu směru otáčení.



3. Hypotéza

Pokuste se odhadnout, která tělesa budou klesat a která naopak stoupat. Svoji domněnku запиšte a krátce zdůvodněte. Co by mělo splňovat těleso, kterého se má hrdina v předchozí povídce chytnout, aby se dostal na okraj víru?

4. Diskuze a korekce hypotézy

Společně s kolegy ve vašem týmu diskutujte svoje odpovědi a na základě diskuze svoji hypotézu upravte.

5. Experiment

Pozvolna uveďte nádobu do otáčivého pohybu a po ustálení tvaru hladiny na ni umísťujte modely lodiček a pozorujte jejich pohyb. Pozorování запиšte a zakreslete do obrázku.

6. Závěr

Moment setrvačnosti

Uvedení do tématu.

Cílem této části cvičení je vyzkoušet si různé způsoby určení momentů setrvačnosti.

Úkoly

- 1) Určete směrný moment zkrutné pružiny.
- 2) Měřením periody torzních kmitů určete moment setrvačnosti vybraných těles.
- 3) Podle dostupných rovnic vypočítejte momenty setrvačnosti těles použitých v úkolu 2. Výsledky porovnejte s experimentálně zjištěnými hodnotami.

Pozn.: Řešte pro jedno až dvě tělesa.

Teorie

Pokud budeme brát hmotnost jako veličinu, která udává nechuť tělesa měnit svoji rychlost u posuvného pohybu, pak moment setrvačnosti je analogií pro pohyb otáčivý. Moment setrvačnosti tedy můžeme chápat jako veličinu, která udává nechuť tělesa měnit svoji úhlovou rychlost, jinak řečeno míru setrvačnosti rotujícího tělesa. Jistou podobnost pak vykazují i definiční rovnice hmotnosti (druhý Newtonův pohybový zákon) a momentu setrvačnosti.

$$F = m \cdot a \quad (1)$$

$$M = J \cdot \varepsilon \quad (2)$$

Moment setrvačnosti je dán hmotností tělesa a rozložením hmoty v tělese vůči ose otáčení. U některých těles lze moment setrvačnosti vůči některé z os určit pomocí jednoduchých rovnic, které shrnuje tabulka „Momenty setrvačnosti vybraných těles“.

Moment setrvačnosti ovlivní periodu kmitání tělesa na zkrutné pružině, které bude kmitat s periodou

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{J}{D}}, \quad (3)$$

kde D je tzv. směrný moment, analogie pro tuhost k „klasické“ pružiny. Směrný moment udává moment síly, kterým pružina působí při jejím zkroucení o 1 rad. Mezi stočením pružiny φ a velikostí momentu síly pružiny M (jímž se pružina brání) tak nalézáme přímou úměrnost, kde konstantou úměrnosti je právě směrný moment D , platí

$$M = -D \cdot \varphi^1. \quad (4)$$

Tohoto vztahu můžeme využít k experimentálnímu určení směrného momentu zkrutné pružiny (viz obrázek 2).

Rovnice (3) může být použita k experimentálnímu určení momentu setrvačnosti tělesa.



Obrázek 1. Hlavní část aparatury k určení momentu setrvačnosti. Stativ se zkrutnou pružinou a připevněným zkoumaným tělesem.

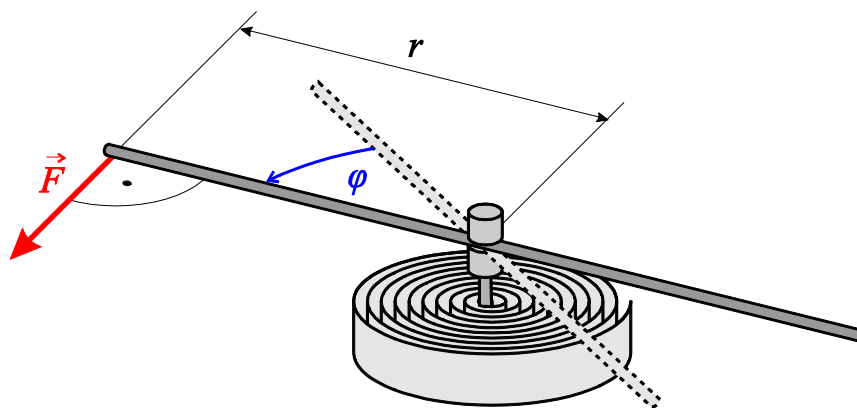
¹ Znaménko mínus zde chápeme tak, že síla pružnosti působí proti vychýlení pružiny.



Postup

Úkol 1)

1. Na pružinu upevníme tyč.
2. K vybranému místu na konci tyče upevníme konec siloměru. Zapišeme si vzdálenost tohoto bodu od osy otáčení tyče.
3. Tažením za siloměr pootočíme tyč o π rad (obrázek 2). Siloměr musí zůstat v rovině otáčení tyče a musí být k ní kolmý. Zaznamenejme velikost působící síly.
4. Krok 3 opakujeme i pro úhly 2π rad a 3π rad ve stejném směru otáčení, poté také pro opačný směr otáčení (úhly π rad, 2π rad a 3π rad).
5. Z údajů naměřených v krocích 2 – 4 určíme velikosti působících momentů sil, zapišeme je do tabulky a vyneseme graf závislosti momentu působící síly M na zkroucení pružiny φ . Vynesenými body proložíme lineární závislost. Určíme směrnici této přímky, která představuje směrnici momentu D pružiny. (Graf vytvoříme v počítači (v programu MS Excel, případně Logger Pro), který nám pomůže s určením rovnice prokládané přímky.)



Obrázek 2. Určení směrnice momentu. Zachycuje statickou situaci, kdy zkroucení pružiny o úhel φ způsobuje moment deformační síly o velikosti $M_d = F_d \cdot r$, pružina se brání momentem $M = M_d$.

Úkol 2)

Kroky 6 - 10 opakujeme pro všechna vybraná tělesa.

6. Vybereme těleso, které podrobíme zkoumání. Sestavíme aparaturu pro zkoumání torzních kmitů. (obrázky 1 a 3)
7. Těleso drobně vychýlíme a necháme kmitat.
8. Pomocí stopky změříme dobu deseti kmitů, tj. deset period a z tohoto času vypočteme délku jedné periody.
9. Ze znalosti periody a směrnice momentu vypočteme [ze vztahu (3)] moment setrvačnosti tělesa.

Úkol 3)

10. Tělesa, která jsme zkoumali v části 2, zvážíme a změříme jejich rozměry. Hodnoty zapišeme do tabulky.
11. Podle rovnic uvedených na přiloženém listě *Momenty setrvačnosti vybraných těles* vypočítáme momenty setrvačnosti těles.
12. Porovnáme výsledky získané teoretickým výpočtem a experimentálně při řešení úkolu 2.





Obrázek 3. Tělesa, jejichž moment setrvačnosti je možné zkoumat.

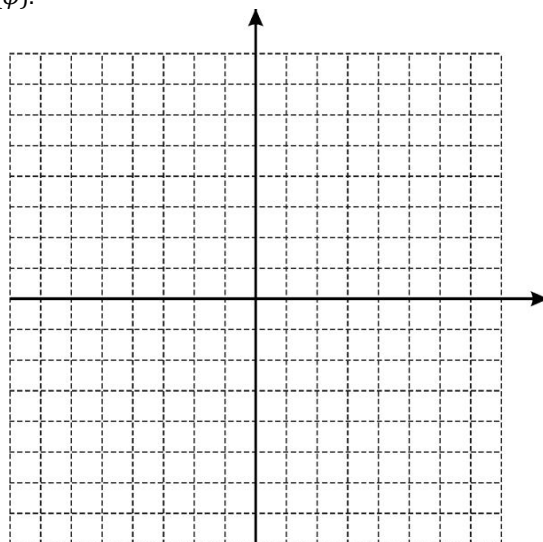
Naměřená data

Úkol 1: Určení směrového momentu

Vzdálenost působíště síly od středu tyče: $r = \dots\dots\dots \text{m}$

$\frac{\varphi}{\text{rad}}$	-3π	-2π	$-\pi$	0	π	2π	3π
$\frac{F}{\text{N}}$	+	+	+	0	-	-	-
$\frac{M = F \cdot r}{\text{Nm}}$	+	+	+	0	-	-	-

Náčrtek grafu závislosti $M(\varphi)$.



Rovnice přímky proložené vynesnými body.

$$M = \dots\dots\dots \cdot \varphi$$

Direkční moment.

$$D = \dots\dots\dots \text{Nm/rad}$$



Úkol 2 a 3:

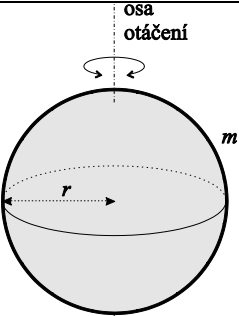
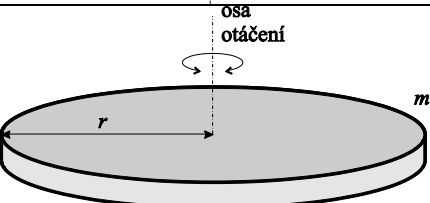
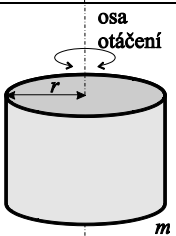
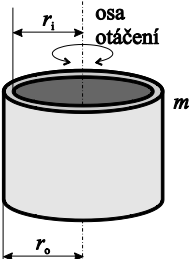
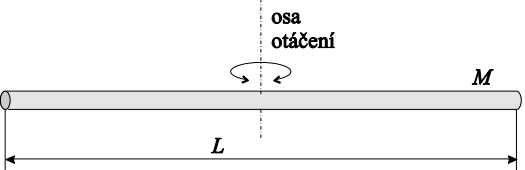
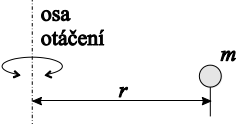
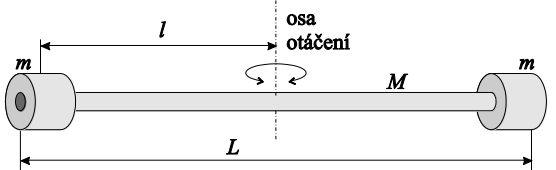
Tabulka obsahující experimentálně i dle teorie určené momenty setrvačnosti těles a potřebné údaje.

	Experimentální určení momentu setrvačnosti (z periody kmitání na zkrutné pružině)			Určení momentu setrvačnosti tělesa z jeho hmotnosti a rozměrů.				
	$\frac{10T}{\text{s}}$	$\frac{T}{\text{s}}$	$\frac{J_e}{\text{kg} \cdot \text{m}^2}$	$\frac{m}{\text{kg}}$	$\frac{r}{\text{m}}$		$\frac{J_t}{\text{kg} \cdot \text{m}^2}$	
Koule								
Disk								
Válec								
	$\frac{10T}{\text{s}}$	$\frac{T}{\text{s}}$	$\frac{J_e}{\text{kg} \cdot \text{m}^2}$	$\frac{m}{\text{kg}}$	$\frac{r_i}{\text{m}}$	$\frac{r_o}{\text{m}}$	$\frac{J_t}{\text{kg} \cdot \text{m}^2}$	
Dutý válec								
	$\frac{10T}{\text{s}}$	$\frac{T}{\text{s}}$	$\frac{J_e}{\text{kg} \cdot \text{m}^2}$	$\frac{M}{\text{kg}}$	$\frac{L}{\text{m}}$		$\frac{J_t}{\text{kg} \cdot \text{m}^2}$	
Tyč								
	$\frac{10T}{\text{s}}$	$\frac{T}{\text{s}}$	$\frac{J_e}{\text{kg} \cdot \text{m}^2}$	$\frac{M}{\text{kg}}$	$\frac{L}{\text{m}}$	$\frac{m}{\text{kg}}$	$\frac{l}{\text{m}}$	$\frac{J_t}{\text{kg} \cdot \text{m}^2}$
Tyč se závažími								

Závěr:



Tabulka: Momenty setrvačnosti vybraných těles.

Název tělesa	Obrázek	Výpočet momentu setrvačnosti
Koule		$J = \frac{2}{5} m \cdot r^2$
Disk		$J = \frac{1}{2} m \cdot r^2$
Válec		$J = \frac{1}{2} m \cdot r^2$
Dutý válec		$J = \frac{1}{2} m \cdot (r_i^2 + r_o^2)$
Tyč		$J = \frac{1}{12} M \cdot L^2$
Hmotný bod		$J = m \cdot r^2$
Tyč se závažími na koncích		$J = \frac{1}{12} M \cdot L^2 + 2 \cdot m \cdot l^2$



Kmitání na pružině

Uvedení do tématu.

Perioda kmitání tělesa na pružině T závisí na hmotnosti tělesa m a na parametrech pružiny, které vyjadřuje tuhost pružiny k . Tento poznatek vystihuje následující rovnice

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}.$$

Úkol

Určete hmotnost závaží, které je třeba zavěsit na danou pružinu, aby vytvořený oscilátor kmital s vlastní periodou 0,8 s.

Pomůcky

Pružina, sada závaží, stativ, siloměr připojený k PC, plastelína, váhy, milimetrový papír.

Postup

1. Pro různá závaží určete periodu kmitání na dané pružině.
(Pro určení periody použijte siloměr připojený k PC a program Logger Pro.)
2. Sestrojte graf závislosti periody kmitání na hmotnosti tělesa.
3. Z grafu (z proložené křivky) určete hmotnost závaží pro kmitání s požadovanou frekvencí.
4. Správnost určené hmotnosti ověřte experimentem. Namísto závaží zavěste na pružinu potřebné množství plastelíny.
5. Nakonec zformulujte závěr této aktivity.

Naměřená data a výsledky

Tabulka naměřených dat (data jsou vynesena do grafu na přiloženém milimetrovém papíře)

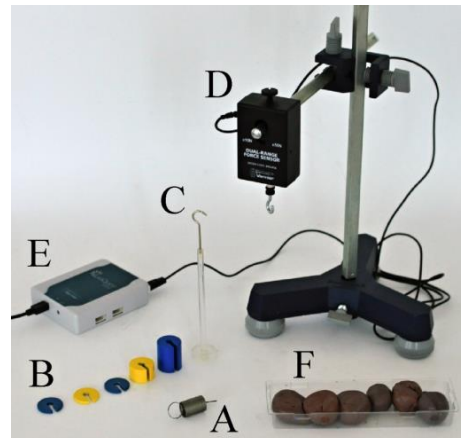
$\frac{m}{g}$									
$\frac{T}{s}$									

$\frac{m}{g}$									
$\frac{T}{s}$									

Hledaný bod má graf souřadnice [____ g ; 0,8 s], z toho vyplývá, že na háček bude třeba zavěsit ____ g plastelíny.

Perioda kmitání vytvořeného „plastelínového“ oscilátoru byla změřena jako ____ s.

Závěr:



Obrázek: Aparatura použitá při experimentu.

A ... pružina, B ... sada závaží, C ... háček pro zavěšení závaží, D ... siloměr upevněný na stativu a připojený k PC přes datalogger E, F ... plastelína.



Rezonanční frekvence a tlumené kmitání (Pohlovo kyvadlo)

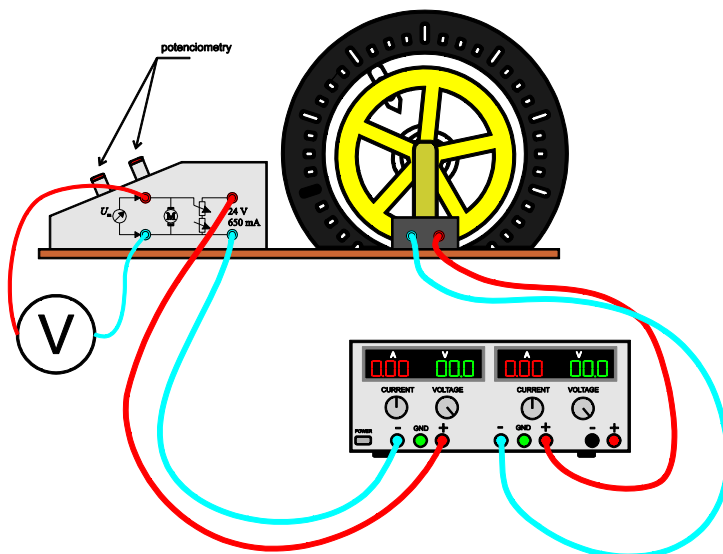
Úkol

1. Určete frekvenci vlastního kmitání kyvadla.
2. Proměřte rezonanční křivku Pohlova kyvadla při tlumení indukční brzdou procházenou proudem ____ A. Naměřené body proložte křivkou danou rovnicí z teorie. Na základě měření odhadněte rezonanční frekvenci kyvadla.
3. Porovnejte frekvenci vlastního kmitání s rezonanční frekvencí kyvadla.

Postup

1. Zapojte aparaturu.
2. Určete vztah mezi napájecím napětím motoru a frekvencí otáčení motoru.
3. Prozkoumejte brždění kyvadla. Vyzkoušejte pro různé proudy cívkami.
(MAXIMÁLNĚ NASTAVUJTE 2,4 A)
4. Určete periodu vlastního kmitání kyvadla (pro tlumení ____ A).
5. Proměřte rezonanční křivku kyvadla. Pro různá napětí (3 – 11 V) motorku stanovte amplitudu kmitání kyvadla. (VŽDY ČEKEJTE NA USTÁLENÍ MAXIMÁLNÍCH VÝCHYLEK.) Napětí měňte cca po 1 V, při větších výchylkách postupujte s menším krokem.
6. Naměřené údaje napětí a amplitudy vložte do programu Logger Pro. Program, po vložení konstanty úměrnosti mezi budící frekvencí, sám dopočte odpovídající budící frekvenci. Body v grafu fitujte křivkou danou rovnicí uvedenou v teorii.
7. Určete budící frekvenci, při které dosahovalo kyvadlo největších výchylek – tzv. rezonanční frekvenci.

Aparatura

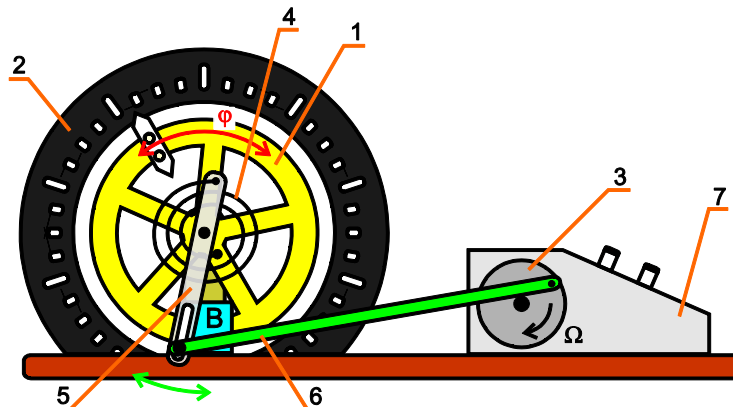


- Ovládání tlumení → velikostí proudu procházejícího cívkou (indukční brzdou)
 - V pravé části zdroje
 - Maximální proud 2,4 A
- Rozsah voltmetru → 20 V
- Při regulaci otáček motoru postupujeme následovně
 - V levé části zdroje nastavíme napětí 20 V
 - Napětí na motoru pak regulujeme potenciometry na aparatuře (horní – hrubá regulace, dolní – jemná regulace) a sledujeme na připojeném voltmetru



Princip měření

Pro měření vlastních a nucených kmitů používáme Pohlovo kyvadlo (viz následující obrázek).



Jedná se o torzní kyvadlo {1}, které může volně kmitat ve svislé rovině kolem kolmé vodorovné osy. Kyvadlo se z vodorovné polohy vychyluje o úhel φ . Tento úhel můžeme odečítat pomocí připevněného ukazatele na stupnici {2}. Nutno dodat, že vynesené dílky neodpovídají úhlu měřenému ve stupních, ani v radiánech. Kyvadlo je buzeno vnějším zdrojem – rotorem {3} motorku {7}, ke kterému je připojeno přes pružinu {4} a soustavu pák {5, 6}.

Je-li motorek v klidu a necháme-li kyvadlo kmitat, mluvíme o vlastních kmitcích. Směr páky {5} pak udává osu, od které budeme měřit výchylku kyvadla. Při měření vlastních kmitů tak nastavíme páku {5} do svislé polohy.

Tlumené kmitání

Tlumení je zde zajišťováno indukční brzdou {B}. Jedná se o dvě sériově spojené cívky, mezi kterými kyvadlo kmitá. Cívky protékáné proudem ve svém okolí vytváří magnetické pole. Jelikož je kyvadlo vyrobeno z vodivého materiálu, pak se v jeho povrchu při pohybu v magnetickém poli indukují tzv. Foucaultovy vířivé proudy. Ty jsou opět zdrojem magnetického pole a podle Lenzova zákona dochází k tomu, že toto magnetické pole působí proti poli cívek. Navenek se to projeví bržděním kyvadla.

Velikost tlumení ovlivňujeme velikostí proudu protékajícího cívkami. Při daném nastavení velikosti tlumení pak z výše uvedeného principu původu brzdící síly (v tomto případě spíše momentu síly) plyne, že její velikost závisí na rychlosti kmitání kyvadla. Z teorie vyplývá, že dokonce přímo úměrně.

Nutno dodat, že každé vlastní kmitání je tlumené. To i takové, kdy brzdou/cívkami {B} nebude procházet žádný proud.

Nucené kmitání

Zdrojem budící síly (momentu síly) je motorek {7}, resp. jeho rotor {3}, který se otáčí konstantní úhlovou rychlostí Ω . Velikost této rychlosti můžeme na motorku ovlivnit otočnými potenciometry.

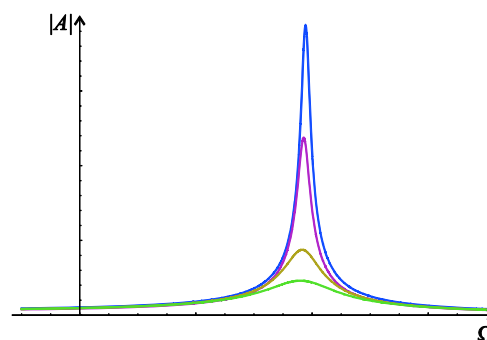
Amplitudu budící síly (momentu) ovlivníme vzájemným posunem pák {5, 6}. V situaci vynesené na obrázku výše je amplituda téměř nejmenší možná. (Ke zvětšení bychom museli páku {6} vůči {5} posunout nahoru.)

Ukazuje se, že po přechodu kyvadla do ustáleného stavu (kmitání) je velikost jeho amplitudy A popsána následující rovnicí.

$$A = \frac{S}{\sqrt{(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + 4\delta^2\Omega^2}},$$

kde S je poměr amplitudy momentu budící síly M_0 a momentu setrvačnosti kyvadla J . Platí $S = M_0 / J$. Amplituda dále závisí na vlastní úhlové frekvenci kmitání oscilátoru ω_0 , na součiniteli jeho tlumení δ a samozřejmě na budící úhlové frekvenci Ω .

Graf závislosti velikosti amplitudy výchylky A daného kyvadla na budící frekvenci Ω nazýváme *rezonanční křivka*. Pro různá tlumení stejného kyvadla jsou vyneseny typické rezonanční křivky na následujícím grafu.



Kalibrace úhlové rychlosti

Pro různá napětí změříme 10 period otáčení rotoru, vypočteme velikost jedné periody a určíme hodnotu budící úhlové frekvence Ω .

Předpokládáme lineární závislost typu $\Omega = k \cdot U$.

i	$\frac{U}{V}$	$\frac{10 \cdot T}{s}$	$\frac{T}{s}$	$\frac{\Omega = 2\pi/T}{Hz}$	$\frac{k = \Omega/U}{Hz \cdot V^{-1}}$
1	2				
2	4				
3	6				
4	8				
5	10				
				$\bar{k} =$	

Rovnice pro výpočet frekvence na základě znalosti napětí: $\Omega = \quad \cdot U$

Tlumené kmitání – vlastní frekvence

$I = \quad A$

i	1	2	3	4	5	Průměr
$\frac{10 T}{s}$						

$f =$

Rezonanční křivka pro různá tlumení

Měření provádíme pro různá tlumení a různá napájecí napětí motoru. Napětí měníme od 3 V do 10 V (s krokem 1V) + navíc pro alespoň 3 napětí v okolí bodu, ve kterém nastává rezonance (odhadneme).

Všechny závislosti poté vyneseme do grafu (v počítači) a fitujeme je předpokládaným tvarem křivky.

$\frac{U_m}{V}$	$\frac{A}{\text{Dílů}}$	$\frac{U_m}{V}$	$\frac{A}{\text{Dílů}}$
Napětí na motoru	Amplituda výchylky	Napětí na motoru	Amplituda výchylky



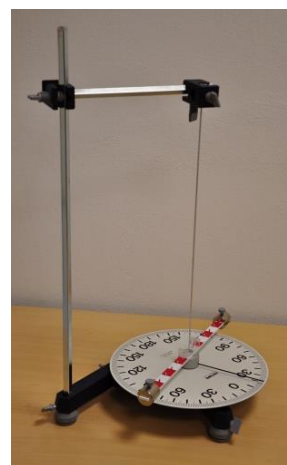
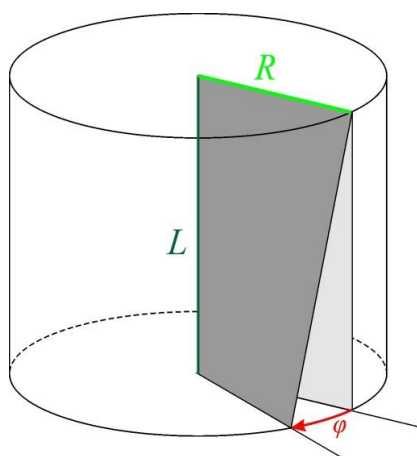
Torzní kmity

Úkol

1. Proměřte, jak závisí perioda kmitání torzního kyvadla na délce drátu.
2. Proměřte, jak závisí perioda kmitání torzního kyvadla na poloměru drátu.
3. Na základě měření seřad'te následující materiály podle velikosti modulu pružnosti v torzi: hliník, ocel, mosaz, měď.

Výsledky porovnejte s teorií. V případě úkolu 3 s údaji uváděnými v tabulkách.

Teorie



Ke zkroucení drátu kolem podélné osy o úhel φ je třeba působit dvojicí sil o momentu \vec{M} , pro jehož velikost platí

$$M = D\varphi, \quad (1)$$

kde veličina

$$D = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{R^4}{L} \cdot G \quad (2)$$

je směrný moment a G modul pružnosti v torzi drátu, L představuje délku drátu a R jeho poloměr. Po zkroucení drátu s uchyceným tělesem o úhel φ a uvolnění začne těleso následně konat torzní kmity s periodou

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{D}}, \quad (3)$$

kde J je moment setrvačnosti tělesa upevněného na drátu vzhledem k ose otáčení. Dosazením za směrný moment ze vztahu (2) lze tento vztah upravit na

$$T = \frac{2\pi}{R^2} \sqrt{J \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \frac{L}{G}}.$$

Aparatura

Stativová souprava, sada drátů s koncovkami, otočná tyč s možností upevnění závaží, siloměr, úhломěr.



Postup

1. Aparaturu sestavte podle obrázku. Do stativu upevněte jeden z drátů. Na otočnou tyč upevněte závaží.
2. Před začátkem měření zkuste předpovědět jeho výsledek. Svoje odhady (hypotézu) запиšte do připravených grafů a tabulky.
3. Tyč vychylte o „rozumný“ úhel a nechte kmitat kolem svislé osy.
4. Pomocí stopek určete periodu kmitání, údaje запиšte do tabulky.
5. Kroky 2 - 4 opakujte pro všechny dráty.
6. Výsledky interpretujte.

Pro určení závislosti $T(L)$ a $T(R)$ je vhodné údaje vložit do programu MS Excel, případně Logger Pro, vynést body do grafu a nechat jimi proložit křivku danou předpisem $y = A \cdot x^B$ (mocninnou závislost). Koeficient B prozradí, zda se jedná o druhou mocninu, druhou odmocninu, ...

Tabulka: Youngův modul pružnosti E , modul pružnosti v torzi G a Poissonova konstanta μ pro vybrané pevné látky za pokojové teploty.

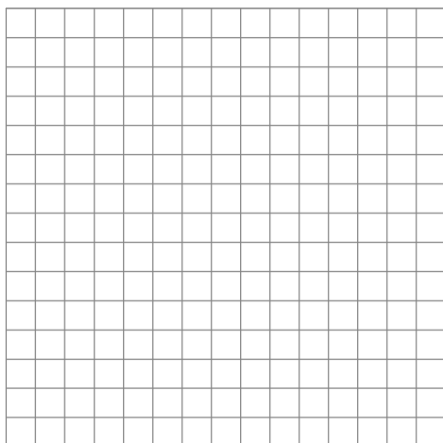
Materiál	$\frac{E}{10^{10} \text{ Pa}}$	$\frac{G}{10^{10} \text{ Pa}}$	μ
Hliník	7,07	2,64	0,34
Měď	12,3	4,55	0,35
Olovo	1,6	0,56	0,44
Diamant	112	52	0,1
Zinek	9,0	3,6	0,25
Železo	21,2	8,2	0,29
Ocel	20 - 21	7,9 - 8,8	0,25 - 0,33
Bronz	9,7 - 10,2	3,3 - 3,7	0,34 - 0,40
Bronz fosforový	12,0	4,36	0,38
Mosaz	9,9	4,2	0,37
Dural	7,25	2,75	0,34
Plexisklo	0,33	0,12	0,35



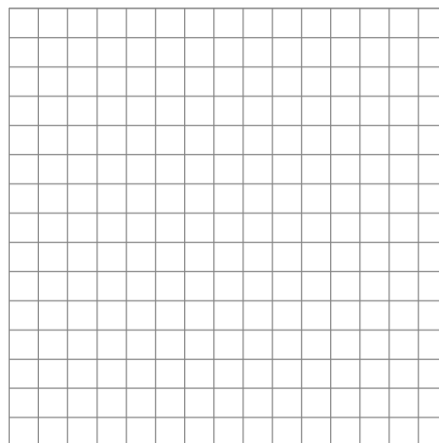
Hypotéza

Do připravených čtverečkových sítí načrtněte, jak podle vás vypadá graf závislosti periody T na délce drátu a na jeho poloměru R . Zkuste také odhadnout, jak budou materiály seřazeny podle modulu pružnosti v torzi.

Předpověď závislosti $T(L)$



Předpověď závislosti $T(R)$



Na základě prostudování údajů v tabulkách odhaduji, že materiály budou podle modulu pružnosti v torzi seřazeny podle velikosti (od nejmenšího po největší) takto: (doplňte):

nejmenší ...

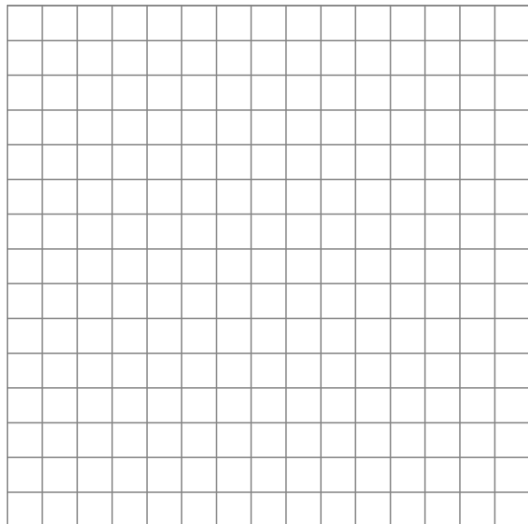
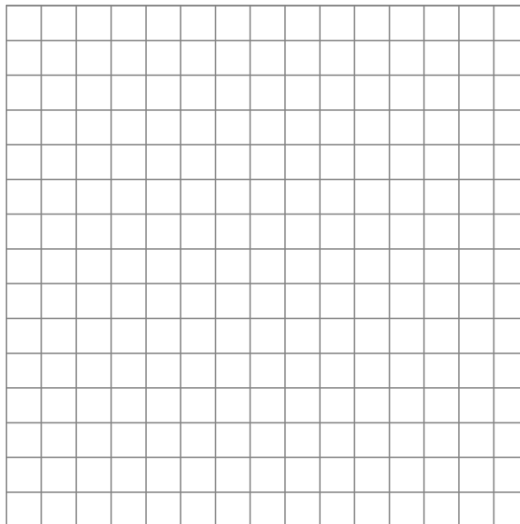
... největší

1.	2.	3.	4.

Záznam měření a jeho interpretace

Materiál	$\frac{L}{\text{cm}}$	$\frac{R}{\text{cm}}$	$\frac{10 \cdot T}{\text{s}}$	$\frac{T}{\text{s}}$



Graf závislosti $T(L)$ Graf závislosti $T(R)$ 

Závislosti popište slovně:

Seřazení materiálů podle velikosti modulu pružnosti v torzi

Na základě naměřených údajů (a zaznamenaných do tabulky) seřad'te materiály podle veličiny G od nejmenší po největší.

nejmenší ...

... největší

1.	2.	3.	4.



D. Dotazníky

V rámci práce bylo nutné provést několik dotazníkových šetření. Samotné dotazníky a některé souhrny dat jsou však příliš rozsáhlé a text samotný by příliš štěpily, z toho důvodu jsou uvedeny zde a z textu práce je na ně odkazováno. Elektronické verze dotazníků jsou uloženy rovněž na přiloženém CD.

D.1 Koncept IFL - názory vyučujících ze SŠ



Pomozte nám vytvořit

interaktivní fyzikální laboratoř (IFL)

tak, aby sloužila Vám a Vaším studentům.

Katedra didaktiky fyziky, Matematicko-fyzikální fakulta UK v Praze

Vážené učitelky fyziky, vážení učitelé fyziky, naše katedra bude otevírat novou fyzikální laboratoř pro středoškolské (IFL). Chtěli bychom Vás požádat o pomoc při dotazníkovém šetření a prosíme Vás o vyplnění tohoto dotazníku. Výsledky budou sloužit ke zkvalitnění fungování laboratoře a dají nám představu o tom, co od nás Vy, učitelé a učitelky, očekáváte.

Všechny údaje jsou pro nás podstatné a důležité, některé však musí být, především ze statistických důvodů, vyplněny (ty jsou označeny hvězdičkou). Žádáme Vás také o vyplnění základních údajů o Vás (tj. jméno, příjmení a e-mail). Tyto informace budou sloužit pouze pro případnou komunikaci s Vámi. Budeme tak například moci reagovat na Vaše připomínky. Zavazujeme se, že tyto osobní údaje nebudou dále šířeny.

Předem děkujeme za Váš čas a vyplnění dotazníku.

Poznámka: Učitelům, kteří byli požádáni o vyplnění dotazníku e-mailem, byl zaslán i průvodní dopis, který naleznete [zde](#).

1. O škole, kde učím

1.1 Typ školy (*):	-- vyberte --
1.2 Název školy:	<input type="text"/>
1.3 Kraj (*):	-- vyberte --
1.4 Obec:	<input type="text"/>
1.5 Velikost obce, sídla školy (*):	-- vyberte --
1.6 Obec je (*):	<input type="radio"/> hlavní město <input type="radio"/> krajské město <input type="radio"/> okresní město <input type="radio"/> ostatní
1.7 Velikost školy (přibližný počet žáků) (*):	<input type="text"/>

2. Údaje o mě

2.1 Jméno (*):	<input type="text"/>
2.2 Příjmení (*):	<input type="text"/>
2.3 E-mail (*):	<input type="text"/>
2.4 Chci být informován/a e-mailem o dalších novinkách na IFL?	-- vyberte --

3. Já, pokusy na KDF a můj zájem o IFL

3.1 Jaké mám zkušenosti s (demonstračními) pokusy pro středoškoláky, které pořádá KDF (viz průvodní dopis):

- ☐ Znáám je. Naši studenti je pravidelně navštěvují.
☐ Znáám je. Naši studenti je několikrát (nepravidelně) navštívili.
☐ Slyšel/a jsem o nich. Naši studenti je však nikdy nenavštívili.
☐ Nikdy jsem o pokusech pro středoškoláky neslyšel/a.

3.2 Připadá mi, že vytvořit takovou laboratoř (IFL) je dobrý nápad:

-- vyberte --

3.3 Proč jsem v předchozí otázce 3.2 vybral/a ANO/NE: (max 1000 znaků)

3.4 V budoucnu bych chtěl/a společně se svými studenty IFL určitě navštívit:

-- vyberte --

3.5 Co od laboratoře jako je IFL očekávám (max 1000 znaků):

4. Seznámení se s laboratoří před návštěvou se studenty

4.1 Chtěl/a bych se seznámit s tím, jak se bude v laboratoři pracovat:

-- vyberte --

Otázky 4.2 a 4.3 lze vyplnit pouze v případě, že jste na otázku 4.1 odpověděli ANO.

4.2 Pokud ano, jakým způsobem? (můžete označit i více možností)

- ☐ -- vyberte: Celodenní/Půldenní -- kurz v IFL (možnost vyzkoušet si úlohy, které budou nabízeny studentům)
☐ o víkendu
☐ v pracovní dny
☐ nezáleží kdy
☐ Virtuální prohlídka (online prohlídka na webových stránkách)
☐ Zveřejnění materiálů (řešení, správné výsledky měření, ...)
☐ dostupné na webu - pouze zaregistrovaným učitelům (chráněné heslem)
☐ volně dostupné na webu
☐ jinak:

4.3 Od kurzu pro učitele konkrétně očekávám: (max 1000 znaků)

5. Studenti v laboratoři

5.1 Největší zájem mám o praktické úlohy z těchto oborů - obodujte prosím témata (5 - největší zájem; 0 - nemám zájem)

- Mechanika
-- Molekulová fyzika a termika
-- Mechanické kmitání a vlnění
-- Elektřina a magnetismus
-- Optika
-- Fyzika mikrosvěta

5.2 Mám zájem, aby kurz mohl být upraven dle našich požadavků (výběr úloh, ...):

-- vyberte --

5.3 Chci se při návštěvě se studenty podílet na vedení kurzu?

-- vyberte --

5.4 V IFL by určitě neměly chybět tyto experimenty (Vaše vlastní náměty): (max 1000 znaků)

5.5 IFL bych chtěl/a nejraději navštívit s

- ☐ celou třídou
☐ vybranými studenty (studenty semináře, ...)
☐ jiný návrh:

5.6 Skupina, se kterou navštívím IFL, by podle mě měla mít ideálně studentů.5.7 Jedna návštěva IFL by podle mě měla trvat: .5.8 Návštěva IFL by se měla odehrávat nejlépe v hodinách.5.9 Myslím si, že studenti by měli pracovat .

5.10 Myslím si, že jednotlivé skupinky studentů (popř. jednotliví studenti) by měli pracovat:

- ☐ na stejných úkolech
☐ na různých úkolech s tím, že na konci návštěvy budou ostatním prezentovat, čím se zabývali
☐ na různých úkolech, bez prezentace ostatním
☐ jiný návrh:

5.11 Podle mě by studenti ještě měli (kromě případné prezentace svých pokusů a výsledků spolužákům ještě v laboratoři):

- ☐ vypracovat protokol o měření
☐ vyplnit předpřipravené materiály, které poskytne IFL
☐ žádný další výstup
☐ jiný návrh:

5.12 Kdo by měl podle mě hodnotit žákovské výstupy (protokoly, ...):

6. Webové stránky IFL, učitel a studenti

6.1 Myslím, že na webových stránkách IFL určitě využiji (lze zaškrtnout více položek):

- ☐ Elektronickou rezervaci návštěv
☐ Seznam volných termínů pro návštěvu IFL
☐ Kalendář dalších akcí pořádaných v IFL
☐ Materiály k jednotlivým experimentům pro učitele
☐ Materiály k jednotlivým experimentům pro studenty
☐ Fotogalerie z akcí
☐ Virtuální prohlídku laboratoře
☐ Seznam dostupných experimentů v jednotlivých tématech
☐ Diskuze pro studenty a učitele (zkušenosti z návštěvy laboratoře, apod.)
☐ jiné: (max 1000 znaků)

6.2 Co by měly obsahovat materiály určené učitelům: (max 1000 znaků)

6.3 Co by měly obsahovat materiály určené studentům: (max 1000 znaků)

6.4 Internet využívám při přípravě na vyučovací hodinu:

7. Místo pro vzkazy

7.1 Dále chci autorům vzkázat: (max 2000 znaků)

>>> ULOŽ <<<

Stisknutím tlačítka >>> ULOŽ <<< odešlete vyplněný dotazník a už jej nebudete moci změnit.
Ještě jednou děkujeme za Váš čas.

D.2 Studentský dotazník k IFL - vnitřní motivace

Datum:

Téma:

Dotazník k interaktivní fyzikální laboratoři (IFL)

Uvedené položky se týkají tvé zkušenosti s danou činností – aktivit, kterých jsi se účastnil/a během návštěvy IFL. Odpověz, prosím, na všechny z nich. U každého výroku pak vyznač, do jaké míry je o tobě pravdivý. K odpovědím použij následující škálu:

1	2	3	4	5	6	7
zcela			do jisté míry			naprosto
nepravdivý			pravdivý			pravdivý

Vybrané zakroužkujte, opravujte škrtnutím.

Škola: ZŠ SŠ Gymnázium

Věk:

Pohlaví:



1	Tato činnost mi připadala docela zábavná.	1	2	3	4	5	6	7
2	Věnoval/a jsem tomu hodně úsilí.	1	2	3	4	5	6	7
3	U této činnosti jsem se cítil/a pod tlakem.	1	2	3	4	5	6	7
4	Myslím si, že vykonávání této činnosti je užitečné pro pochopení látky probírané ve škole.	1	2	3	4	5	6	7
5	Tato činnost se mi velmi líbila.	1	2	3	4	5	6	7
6	U této činnosti jsem se moc nesnažil/a uspět.	1	2	3	4	5	6	7
7	U této činnosti jsem nebyl/a vůbec nervózní.	1	2	3	4	5	6	7
8	Myslím si, že tato činnost by pro mě mohla mít nějakou hodnotu.	1	2	3	4	5	6	7
9	U této činnosti jsem se cítil/a velmi napjatý/á.	1	2	3	4	5	6	7
10	Myslím si, že tato činnost je důležitá.	1	2	3	4	5	6	7
11	Tato činnost byla zábavná.	1	2	3	4	5	6	7
12	U této činnosti jsem se opravdu velmi snažil/a.	1	2	3	4	5	6	7
13	U této činnosti jsem se cítil/a velmi uvolněně.	1	2	3	4	5	6	7

14	Myslím si, že je užitečné tuto činnost dělat, protože může vést k lepšímu vhledu do fyzikálních problémů.	1	2	3	4	5	6	7
15	Tato činnost mi připadala nudná.	1	2	3	4	5	6	7
16	Při práci na tomto úkolu jsem cítil/a úzkost.	1	2	3	4	5	6	7
17	Byl bych ochotný/Byla bych ochotná tuto činnost dělat znovu, protože pro mě má určitou hodnotu.	1	2	3	4	5	6	7
18	Tuto činnost bych popsal/a jako velmi zajímavou.	1	2	3	4	5	6	7
19	V tomto úkolu pro mě bylo důležité uspět.	1	2	3	4	5	6	7
20	Myslím si, že vykonávání této činnosti by mi mohlo pomoci při dalším studiu fyziky.	1	2	3	4	5	6	7
21	Tato činnost mě vůbec nezaujala.	1	2	3	4	5	6	7
22	Když jsem tuto činnost vykonával/a, říkal/a jsem si, že mě opravdu baví.	1	2	3	4	5	6	7
23	Nevěnoval/a jsem tomu moc energie.	1	2	3	4	5	6	7
24	Myslím si, že vykonávání této činnosti by mi mohlo prospět.	1	2	3	4	5	6	7

Na závěr můžete přidat nějaký vzkaz vedoucím a autorům kurzu:

D.3 Zpětná vazba od učitelů



Navštívil/a jste se svými studenty

interaktivní fyzikální laboratoř (IFL)?

Zodpovězte, prosím, několik otázek, které se týkají návštěvy a jejího začlenění do vaší výuky.

Katedra didaktiky fyziky, Matematicko-fyzikální fakulta UK v Praze

Vážené učitelky fyziky, vážení učitelé fyziky,
IFL již navštívilo množství skupin ze středních škol a jednu z nich tvořili i vaši studenti. Drobnou zpětnou vazbu od studentů jsme získávali od některých skupinek již v laboratoři. Zajímá nás však i Váš názor na fungování a případný přínos IFL. Z toho důvodu bychom Vás rádi poprosili o vyplnění tohoto dotazníku. Získané informace jsou pro nás důležitou zpětnou vazbou a věříme, že nám mohou v mnohém pomoci.

Předem děkujeme za Váš čas a vyplnění dotazníku.

Za IFL

RNDr. Zdeněk Šabatka

Která témata jste navštívili?

- ☐ Mechanika - rotační pohyb
- ☐ Mechanické kmitání a mechanika tuhého tělesa
- ☐ Termodynamika
- ☐ Elektrostatika
- ☐ Optika

Ohodnoťte, prosím, naši práci.

Hodnoťte jako ve škole, známkami 1 - 5 (1 ... nejlepší, 5 ... nejhorší).

Výběr experimentů: -- vyberte -- ▾

Kvalita připravených pracovních listů: -- vyberte -- ▾

Komunikace při dojednávání návštěvy v IFL: -- vyberte -- ▾

Přístup pomocníků, kteří se vám v IFL věnovali: -- vyberte -- ▾

Připravenost pomocníků: -- vyberte -- ▾

U následujících výroků, prosím, uveďte, jak moc jsou dle vašeho názoru pravdivé.

Hodnocení je podobné jako ve škole (1 - naprosto pravdivé, 5 - úplně nepravdivé).

Pod každým výrokem je vždy okénko, ve kterém k němu můžete přidat komentář.

1. Aktivitu, kterými studenti prošli, pro ně byly zajímavé. -- vyberte -- ▾

Komentář:

2. Aktivitu, kterými studenti v IFL prošli, jim pomohly upevnit si znalosti získané ve škole. -- vyberte -- ▾

Komentář:

3. Aktivitu, kterými studenti v IFL prošli, jim pomohly upevnit si dovednosti získané ve škole. -- vyberte -- ▾

Komentář:

4. Díky aktivitám, kterými studenti v IFL prošli, studenti získali nové znalosti. -- vyberte -- ▾

Komentář:

5. Díky aktivitám, kterými studenti v IFL prošli, studenti získali nové dovednosti. -- vyberte -- ▼

Komentář:

6. Aktivity v IFL jdou nad rámec učiva střední školy. -- vyberte -- ▼

Komentář:

7. Všechny experimenty, které jsem v IFL viděl/a, jsem již znal/a. -- vyberte -- ▼

Komentář:

8. Některé experimenty pro mne osobně byly nové. -- vyberte -- ▼

Komentář:

9. V následujícím školním roce bych chtěl/a vzít studenty do IFL znovu. -- vyberte -- ▼

Komentář:

Návrat k aktivitám z IFL ve škole

Vrátili jste se nějakým způsobem v rámci výuky ve škole k aktivitám, které studenti v IFL absolvovali?

- ☐ ANO
☐ NE

Byli studenti za práci v IFL nějak hodnoceni?

- ☐ ANO
☐ NE

Zpracovávali studenti na základě měření nějaký výstup, který odevzdávali Vám ke kontrole?

- ☐ ANO, odevzdali vyplněný pracovní list, který získali v IFL.
☐ ANO, odevzdali jimi vytvořený laboratorní protokol.
☐ ANO, jiná varianat.
☐ NE.

Zde Vás prosíme o bližší komentář předchozích tří otázek:

Další komentáře

Pokud máte nějaké komentáře, návrhy na zlepšení, či byste nám chtěli něco vzkázat, zde je k tomu prostor.

Děkujeme za spolupráci a vyplnění dotazníku.

>>> ULOŽ <<<

Stisknutím tlačítka >>> ULOŽ <<< odešlete vyplněný dotazník a už jej nebudete moci změnit.
Ještě jednou děkujeme za Váš čas.

E. Obsah příloženého CD

Součástí příloh je i CD, na kterém jsou kromě textu disertační práce v elektronické podobě (pdf) i následující položky:

E.1 Odpovědi na otevřené otázky v dotazníku ke koncepci IFL. Tato část dává soupis odpovědí na otevřené otázky v průzkumu mezi učiteli, který byl proveden před spuštěním IFL. Průzkum i jeho výsledky popisuje podkapitola 5.1.

E.2 Komentáře učitelů z dotazníku zpětné vazby. Příloha obsahující odpovědi na otevřené otázky při zjišťování zpětné vazby od učitelů poté, co navštívili se svými studenty IFL. Průzkum i jeho výsledky shrnuje kapitola 10.

E.3 Dotazníky k použití. V této příloze jsou umístěny dotazníky (elektronické i tištěné) použité v jednotlivých průzkumech (podkapitola 5.1 a kapitoly 9, 10) a to i z toho důvodu, že mohou být v budoucnu použity znovu, nebo mohou sloužit jako vzor pro tvorbu nových dotazníků podobného formátu.

E.4 Pracovní listy a nastavení experimentů. V této příloze jsou uloženy pracovní listy k připraveným aktivitám a to vždy ve dvou formátech (pdf a docx). K některým aktivitám byly předpřipraveny soubory s tabulkami a grafy, které studentům usnadňují zpracování naměřených dat. I tyto soubory jsou přiloženy. Pro tematický program *Magnetické pole solenoidu* byl vytvořen elektronický návod (webové stránky [68]), který je rovněž uložen na CD.

E.5 Tabulky naměřených dat. Součástí textu disertační práce je i popis připravených experimentů a jejich typických výsledků. Za tímto účelem bylo třeba provést řadu měření. Tabulky s těmito daty jsou umístěny v poslední části CD přílohy.